



Universidad
Andrés Bello®

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Departamento de Geología

**EVALUACIÓN DE PELIGRO DE REMOCIONES EN MASA
EN EL ÁREA DE
COBQUECURA-BUCHUPUREO, COMUNA DE
COBQUECURA
REGIÓN DEL BIO-BIO, CHILE**

Memoria para optar a título de Geóloga

Autora:

Consuelo del Carmen Antezana Ray

Profesora Guía:

Paola Ramírez Carvallo

Marzo, 2018

Viña del Mar, Chile

RESUMEN

El incremento de población y de las actividades asociadas al turismo en la zona litoral de la Región del Biobío provoca un consecuente aumento de la intervención antrópica en el territorio. Principalmente por la construcción de caminos diseñados sin considerar estudios geológicos acabados pudiendo generar procesos de remociones en masa asociados a la inestabilidad de los taludes excavados. Esto induce un riesgo para la vialidad e incide negativamente en la disponibilidad de rutas de evacuación para amenazas como incendios, maremotos e inundaciones por desborde de cauce.

Las localidades de Cobquecura y Buchupureo son de interés turístico por su patrimonio arquitectónico, debido al uso ornamental de rocas foliadas en sus construcciones y, además, para los practicantes del “surf”, por su oleaje y morfología costera. En estas áreas se observan evidencias de procesos de remociones en masa como caídas de rocas a menos de 30 m de construcciones habitacionales, y deslizamientos rotacionales múltiples en las vías de acceso y de conectividad de la comuna de Cobquecura.

Este trabajo se orienta a: caracterizar y evaluar los procesos de remociones en masa que están afectando el área; identificar los factores condicionantes que favorecen la generación de remociones en masa; y entregar la información necesaria para el diseño de obras de mitigación y control de los procesos. Para ello, se aplica la metodología de Lara (2007) para la identificación de la susceptibilidad de los procesos de remociones en masa y se analizan cualitativamente utilizando parámetros estándar, los principales tipos de remociones identificados con programas computacionales especializados.

Los factores condicionantes más importantes identificados para la generación de estos procesos son los factores de geológicos/geotécnicos, geomorfológico y antrópico. En áreas no intervenidas por causa antrópica, el relieve muestra un equilibrio dinámico natural con respecto a la actividad de los procesos de remoción en masa.

Los resultados obtenidos muestran el alto índice de susceptibilidad que afecta ciertas áreas, las cuales deben ser tomadas en consideración para el futuro desarrollo de construcciones, ya sea viviendas o obras viales. Como medidas de mitigación ante la posibilidad de ocurrencia de remociones en masa que movilicen grandes volúmenes de material en la ruta N-102-M, se recomienda la estabilización de taludes por medio de escalonamientos, para suavizar la pendiente hasta un ángulo menor al crítico en el sector, la canalización perimetral de las aguas lluvias en el coronamiento de los taludes de modo de manejar el efecto erosivo de las precipitaciones torrenciales, especialmente durante la temporada invernal. Estas medidas de control deben desarrollarse previo a estudios específicos para determinar los ángulos críticos de reposo y el diseño para canalización de aguas.

ABSTRACT

A rise in population and tourism in the coastal areas of the Biobio Region generates as a consequence a rise in the anthropological intervention, mainly by the construction of roads that have been designed without sufficient geological information, which cause the activation of mass removal processes. This slope instability created by the anthropological intervention creates a high risk by limiting the route accessibility in case of emergencies such as forest fires, tsunamis, flooding due to river overflow.

The Cobquecura and Buchupureo Region is an important tursitic destination because of the high-quality surf and colonial arquitectural heritage. This area has evidence of active mass removal processes such as rockfalls less than 30 m from housing constructions, and rotational landslides in main highways that connect the comunal capital of Cobquecura with surrounding towns.

This research investigation plans to evaluate the existing land mass removal processes affecting the study area, and identify the condicional factors that favor the generation of these processes. To determine these factors, the Lara (2007) methodology is applied by calculating the susceptibility index of the land mass removal procceses in addition to modeling the main processes observed to determine the probability of ocurrence.

The most influencial factors identified were geological/geotechnical, geomorphological and anthropological factores. In areas not intervened by anthropological means, the landscape shows stability with regards to land mass removal processes, such as landslides. In the case of rockfalls, for the metamorphic unit the susceptibility depends on the N exposure of the hillsides, that result perpendicular to the general foliation of the unit.

The results show a high susceptibility index in certain áreas that must be taken into consideration for future construction development of housing or highways. As a mean to mitigate apparent dangers along the N-102-M route, it is recommended that adyacent hillsides be stabilized by adding terraces with chanalized water system to diminish the total slope, as well as, to minimize erosion due to rainfall.

A la Madre Tierra

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, Tarsicio y Kristen por entregarme apoyo emocional e intelectual incondicional durante mi vida y en especial durante estos hermosos años de estudio de la geología. A mis hermanos, en especial a Kyrie por siempre creer en mi vocación y agregarle humor a este proceso.

A mi profesora guía Paola Ramirez, por darme el espacio para desarrollarme y guiarme durante este trabajo y ser un modelo a seguir. Al profesor Harry Esterio y Sergio Calderón por darme apoyo y confianza en mis conocimientos.

A Fernando Vargas por entregarme un hogar y amistad durante los terrenos. A todas las personas de Cobquecura y Buchupureo que me acogieron cariñosamente y ayudaron con información de gran interés.

A todas mis amigas y amigos que forman parte de mi día a día presencial o ausente físicamente que han sido mi pilar de apoyo, consejos, felicidad y enseñanza, en especial a Francisca Celis, Bernardita Arechandieta y Catalina Hotz, que me han acompañado durante este año y ayudado a mantenerme equilibrada.

Agradezco profundamente a todos los que forman parte del Departamento de Geología de la Universidad Andrés Bello, sede Viña del Mar, porque generan un ambiente tan agradable, motivante y reconfortante para el desarrollo personal e intelectual del estudiante, agradeciendo principalmente a la jefe de carrera Ximena Contardo por su dedicación, comprensión y empatía.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo General.....	5
1.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Hipótesis de Trabajo.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Deficininiones y Clasificaciones.....	6
2.1.1. Tipo de movimientos.....	8
2.2. Antecedentes Históricos y Sociales.....	10
2.2.1. Historia.....	10
2.2.2. Problemas Socio-Ambientales.....	11
2.2.3. Registro Sísmico.....	13
2.3. Factores Condicionantes.....	15
2.3.1. Geología.....	15
2.3.2. Geomorfología.....	18
2.3.3. Clima y Vegetación.....	20
2.3.4. Hidrología.....	20
2.3.5. Actividad Antrópica.....	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. Etapa de Gabinete 1: Diagnóstico.....	23
3.2. Etapa de Terreno.....	24
3.3. Etapa de Gabinete 2: Mapa de Susceptibilidad y Evaluación de Peligrosidad.....	25
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	27
4.1. Geomorfología.....	39
4.2. Geología.....	27
4.2.1. Geología Estructural.....	33
4.3. Geotécnia.....	38
4.4. Clima y Vegetación.....	39
4.5. Hidrogeología e Hidrología.....	43
4.6. Factor Antrópico.....	44
4.7. Antecedentes.....	47
4.8. Evaluación de Susceptibilidad.....	51
4.8.1. Deslizamientos Rotacionales de Suelo.....	51
4.8.2. Caídas de Rocas.....	55
4.8.3. Análisis Comparativo.....	59
4.9. Evaluación de Peligrosidad.....	59
4.9.1. Deslizamientos Rotacionales.....	59
4.9.2. Caída de Rocas.....	63
5. DISCUSIÓN.....	65
6. CONCLUSIONES.....	70
REFERENCIAS.....	73
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación área de estudio.....	4
Figura 2: Ocurrencia Nacional Historica de incendios forestales entre los años 1964-2017, representan un total de 3.134.848 há afectadas. Elaborado a partir de datos estadísticos de la Corporacion Nacional Forestal (CONAF, 2017).....	12
Figura 3: Mapa geológico modificado por Vásquez (2008).	17
Figura 5: (A) Afloramiento de Unidad Paleozoica Metamórfica (UPM) ladera sur de Valle Cobquecura. (B) Foliación de filitas.....	28
Figura 6: Afloramiento de Unidad Triásica Intrusiva (UTI). Las imagenes corresponde a: (A) Corte de camino, evidencian el perfil de meteorización. (B) Fenómenos de meteorización esferoidal, ademas de la conservación de fracturamiento y diaclasas relictas, en donde las que se infieren las características originales de la roca. (C) Misma unidad, aflorando a una cota inferior a nivel del mar.	29
Figura 7: Afloramiento de Unidad Sedimentaria (A) Contacto entre unidad sedimentaria y unidad paleozoica donde se distinguen los conglomerados basales. (B) Columna estratigráfica modificada de Jara-Muñoz et al. (2015) en la cual se identifica la Unidad Sedimentaria como parte del ciclo 1 (MIS 7). (C) Estratificación cruzada en afloramiento de unidad sedimentaria.....	31
Figura 8: Depósitos coluviales con predominancia de clastos provenientes de la Unidad Paleozoica Metamórfica (UPM) en la ladera sur del valle de Cobquecura.	32
Figura 9: Lineamientos principales dentro del área de estudio. Google Earth, 2018.	35
Figura 10: Rosetas (Dips) de datos estructurales totales de diaclasas para las Unidades Triasica Intrusiva (A) y Unidad Paleozoica Metamórfica (B). Los puntos rojos indican las ubicaciones geográficas en las cuales se obtuvo los datos.....	37
Figura 11: Perfil de meteorización para rocas metamórficas e ígneas (Deere & Patton, 1971). Ambos tipos de rocas afloran en el área de estudio.	38
Figura 4: Mapa geomorfológico área Buchupureo-Cobquecura.....	41
Figura 12: Promedio de datos meteorológicos de precipitación durante los meses de abril a octubre entre los años 2009 y 2017. Se considera estos años ya que la mayoría de los eventos están relacionados con la construcción del camino N-102-M que fue terminado el año 2009. Datos obtenidos de la estación metereológica Concepción a 78km de Cobquecura (Freemeteo, 2017).....	43
Figura 13: Ruta N-102-M con medidas de mitigación sobrepasadas por material de deslizamientos.....	44
Figura 14: Distribución de procesos de remociones en masa, mayoritariamente deslizamientos rotacionales, afectando la ruta N-102-M a la altura del estacionamiento Punta de “Surf” de Buchupureo.....	45

Figura 15: Deslizamiento rotacional de suelo situada al sur de la Punta de “Surf” Buchupureo antes (imagen superior) del evento y posterior (imagen inferior) involucrando árboles de más de 30 m de altura, cercos, y suelo.....	46
Figura 16: Mapa del área de estudio, con puntos de eventos de remociones en masa activos. Estos se mayor concentran en la ruta N-102-M por el acceso sur de Buchupureo.	48
Figura 17: Caídas de rocas y deslizamientos declarados (puntos azules) sobre la Unidad Paleozoica en la ladera sur del Valle de Cobquecura.....	50
Figura 18: Mapa de Índice de Susceptibilidad de deslizamientos rotacionales para el área de Buchupureo-Cobquecura.	54
Figura 19: Mapa Índice de Susceptibilidad de caída de rocas para el área de Buchupureo-Cobquecura.	58
Figura 20: Análisis de factor de probabilidad de ocurrencia de deslizamientos según ángulo de falla rotacional. Slide de Rocscience.	62
Figura 21: Ploteo de datos estructurales de la Unidad Metamórfica Paleozoica (UPM).....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación entre factores desencadenantes y tipos de remociones en masa (Varnes, 1978).....	7
Tabla 2: Clasificación de procesos de remociones en masa según Varnes (1978). 8	
Tabla 3: Registro de sismos generadores de maremotos afectando localidades costeras dentro de la región del Biobío. Modificado de Lockridge (1985) y datos obtenidos del Servicio Hidrológico y Oceanográfico de la Armada (SHOA).....	14
Tabla 4: Factores condicionantes y ponderación para deslizamiento rotacionales.	52
Tabla 5: Desglose de factores condicionantes en deslizamientos de suelo y sus ponderaciones usadas en este trabajo.....	53
Tabla 6: Factores condicionantes y ponderaciones para caídas de rocas.	55
Tabla 7: Desglose de factores condicionantes para caída de rocas.	57
Tabla 8: Perfil de suelo modificado de Suarez-Díaz (1998). En los sectores donde se observa deslizamientos de suelo utiliza un nivel de suelo orgánico decimetrico.	60
Tabla 9: Datos de las características geomecánicas (Bañon y Bevia García, 2000) asociadas al perfil de meteorización de la Unidad Triásica, para la generación de los modelos en base al programa computacional Rocslide.....	61
Tabla 10: Datos estructurales de rumbo y manteo para el talud y los set de diaclasas para la Unidad Metamórfica Paleozoica (UPM) en el área de Cobquecura.	64

1. INTRODUCCIÓN

Chile comprende un territorio que presenta múltiples amenazas de origen geológico debido al contexto tectónico en el que se encuentra. Estas amenazas se manifiestan a partir de eventos sísmicos, volcánicos, de remociones en masa y de inundación, los cuales en su conjunto constituyen riesgos latentes para la población y para el desarrollo económico sostenido del país.

La zona costera de la Región del Biobío presenta un relieve formado como resultado de estos múltiples procesos. Caracterizándose en el área de estudio por la presencia de escarpes pronunciados, cortados por numerosos valles amplios que desembocan al mar donde se localizan las principales localidades que están expuestas a amenazas de remociones en masa e inundaciones por crecidas de río, marejadas y en menor medida amenazas de maremotos. Las localidades costeras de Buchupureo y Cobquecura, están ubicadas en el valle del Estero Buchupureo y valle del Río Cobquecura, que nacen de la Cordillera de la Costa.

Con una población de 5.687 (INE, 2002), la Comuna de Cobquecura es una de las áreas más visitadas de la región y se proyecta como un centro de máximo interés turístico el que ha aumentado en un 16.1% respecto al 2010 (Cristoco y Mellado, 2012). Dentro de los intereses turísticos se considera su arquitectura construida a base de las rocas metamórficas aflorantes en el área, principalmente filita la que se denomina comúnmente piedra laja por el marcado desarrollo de los planos de foliación. Así, Cobquecura que significa “pan de piedra” en mapudungún, presenta su arquitectura como patrimonio cultural material de trascendencia nacional y fue declarada por el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN), como zona típica el año 2005 (Decreto N°715/CMN, 2005). Además, incluye el Santuario de la Naturaleza denominado Islote y Lobería Iglesia de Piedra, declarado como tal el año

1992, el cual representa el principal patrimonio natural de la comuna (Decreto N° 544/CMN, 1992).

La población económicamente activa (PEA) de la comuna de Cobquecura, se relaciona mayoritariamente con actividades del ámbito rural (49%) incluyendo la agricultura, ganadería, pesca artesanal, y actividad forestal, seguido de servicios (26%), que incluyen turismo, gastronomía y de otros sectores relacionados al comercio y actividades deportivas acuáticas y tradicionales como el rodeo. Las actividades del ámbito rural se ven favorecidas por la existencia de amplias llanuras costeras que facilita el desarrollo de la agricultura y la ganadería (CRUBC, 2015). Dentro de las actividades deportivas, la práctica del deporte de “surf” se concentra en lugares adyacentes a roqueríos costeros. En estos sectores se pueden presentar remociones en masa como caída de rocas o deslizamientos, en las vías de acceso a la rompiente, lo cual representa un riesgo importante para la población creciente de surfistas, en particular, si estas son gatilladas por eventos sísmicos, ya que luego de un sismo de gran magnitud se declara normalmente una evacuación preventiva del borde costero por el peligro de maremoto.

Debido a la falta de estudios geológicos y geomorfológicos detallados para las localidades de Buchupureo y Cobquecura, la Zonación Costera Comunal (CRUBC, 2015) se creó sin estudios acabados de los peligros geológicos, que permitieran determinar con certeza la susceptibilidad y alcance de los procesos de remociones en masa. Este trabajo se focaliza en identificar y evaluar los procesos de remociones en masa, existentes o con posibilidad de desarrollarse dentro del área de estudio, además de determinar sus factores condicionantes, delimitar las zonas propensas a ser afectadas, e identificar áreas ya afectadas por dichos procesos. Se espera generar un mapa de susceptibilidad y determinar la peligrosidad con el fin de aportar información clave para el desarrollo de la planificación territorial y mejorar el entorno, que ya está sometido a un crecimiento acelerado del turismo y de infraestructuras. Para esto, es necesario entender el comportamiento de la

morfología local y de los factores que condicionan su dinámica natural, de manera de advertir y desarrollar medidas preventivas ante eventos geológicos mayores.

Para una descripción preliminar del sistema se ha recurrido a publicaciones científicas, instrumentos de Planificación Territorial en comunas costeras de la región del Biobío (Planes Reguladores Comunales, Plan de Desarrollo del Borde Costero y Turísticos, División Política Administrativa); expedientes de los estudios y memorias; estudios de zonificación del borde costero regional e información entregada por la Ilustre Municipalidad de Cobquecura.

El presente estudio se basa en la metodología propuesta por Lara (2007) para análisis de susceptibilidad de procesos de remoción en masa, y la identificación de zonas críticas a escala 1:50.000. Para las zonas críticas se realiza además un estudio detallado del proceso de remoción en masa reconocido, con la elaboración de modelos de probabilidades de ocurrencia y mapas temáticos a escala 1:10.000.

UBICACIÓN Y ACCESO

El área de estudio comprende los alrededores de los pueblos de Buchupureo y Cobquecura (Figura 1) entre los 36°02'-36°05' S y 72°45'-72°49' O (UTM WGS84 18H 699893 m E 6005708 m S) que se encuentran en la comuna de Cobquecura, Provincia de Ñuble, Región del Biobío, Chile. La principal vía de acceso es por la ruta interregional N-102-M que conecta Cobquecura con Buchupureo y las localidades costeras ubicadas al norte de éstas. Para acceder a Cobquecura por el Sur se toma la Ruta N-40 pasando por Quirihue, al cual se puede llegar desde la Ruta 5 Sur por la ruta N-50, o desde Concepción por la Autopista del Itata 152 siguiendo luego por la ruta 126.

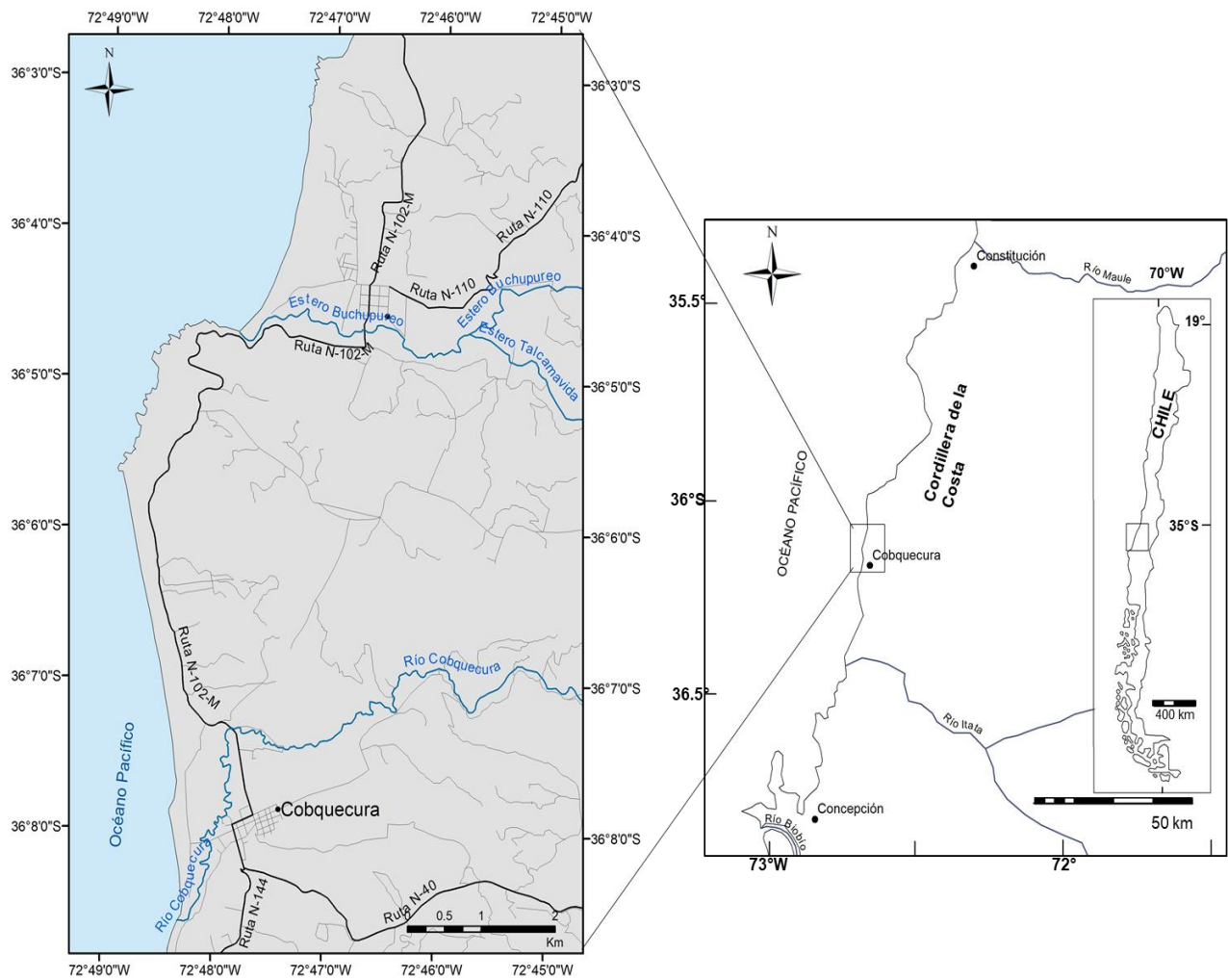


Figura 1: Ubicación área de estudio.

1.1. Objetivo General

Identificar y evaluar los procesos geológicos de remociones en masa que presenten una potencial amenaza para la población, en la localidad de Buchupureo y Cobquecura.

1.2. Objetivos Específicos

- Compilar y analizar la información geológica e histórica de procesos geológicos en el área de interés.
- Identificar y tipificar procesos geológicos que afectan actualmente el área.
- Caracterizar y ponderar los factores condicionantes para cada proceso de remoción en masa.
- Generar mapa de susceptibilidad.
- Determinar la peligrosidad asociada.
- Proponer medidas de manejo y control de riesgo en los sectores amenazados.

1.3. Hipótesis de Trabajo

Los procesos de remociones en masa en el área presentan como factor condicionante principal la actividad antrópica. Por el contrario, en sectores no intervenidos se observa un equilibrio dinámico natural presentando una baja susceptibilidad a los procesos de remociones en masa.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Deficiniciones y Clasificaciones

Una remocion en masa corresponde al proceso de movilización, lenta o rápida, ladera abajo por efectos de gravedad, de un determinado volumen de roca, detritos o suelo (Varnes, 1978). Las remociones en masa deben su origen a la suma y combinación de variados factores geológicos, morfológicos, físicos y de algunas actividades humanas (Cruden, 1991). La clasificación de los procesos de remociones en masa está asociados a los mecanismos de falla en la pendiente y las propiedades y características de este tipo de falla (Highland & Bobrowsky, 2008).

Dentro de los atributos que son usados en el criterio de identificación y clasificación se señalan los tipos de movimientos, tipos de material, velocidad de movimiento, geometría del área de colapso, tipo de depósito, edad, causas, grado de ruptura de la masa desplazada, relación con la estructura geológica, grado de desarrollo, ubicación geográfica, y el estado de la actividad (Highland y Bobrowsky, 2008).

Los factores que dan origen a los procesos de remociones en masa, denominados factores condicionantes, son los generadores de una potencial inestabilidad, y actúan controlando la susceptibilidad de una zona a ser afectada por fenómenos de remociones en masa. Estos factores son diversos y tienen distintos grados de influencia dependiendo del tipo de evento (Tabla 1; Varnes, 1978).

Tabla 1: Relación entre factores desencadenantes y tipos de remociones en masa (Varnes, 1978).

<div> <div>Tipo de remoción en masa</div> <div>Factores Condicionantes</div> </div>	Caídas	Deslizamientos	Toppling	Flujos	Extensiones Laterales
Geología y Geotecnia	X	X	X	X	X
Geomorfología	X	X	X	X	X
Hidrología e Hidrogeología	X	X	X	X	X
Vegetación y Clima		X		X	X
Actividad Antrópica	X	X	X	X	

Lara (2007) generó un desglose detallado de los factores condicionantes para distintos tipos de remoción en masa que incluyen los analizados en el presente estudio.

Estos factores pueden permanecer en constante equilibrio hasta que ocurra un evento capaz de desestabilizar y desencadenar un proceso de remoción en masa; entre los gatillantes más comunes, están los movimientos sísmicos y las precipitaciones intensas (Wieczorek, 1996). Es de especial importancia identificar los factores condicionantes y sus características locales, para determinar la susceptibilidad y peligro que generan.

2.1.1. Tipo de movimientos

A continuación, se describen las características de los principales procesos de remociones en masa indicados en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de procesos de remociones en masa según Varnes (1978).

Tipo de movimiento		Tipo de material		
Caída		Roca	Suelo	
Toppling				
Deslizamiento	Rotacional			
	Transicional			
Extensiones laterales			Grano grueso (detritos, <80% partículas <2mm)	Grano fino (barro, >80% partículas <2mm)
Flujos				
Complejos				

- **Caídas o desprendimientos de rocas**

Según Varnes (1978), las caídas de rocas corresponden a un tipo de movimiento en masa donde uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie se genere desplazamiento cortante apreciable. El material desprendido se desplaza en caída libre efectuando golpes, rebotes y rodamiento. El movimiento no es masivo ni del tipo flujo, existiendo interacción mecánica entre fragmentos individuales, aunque no entre fragmentos en movimiento. El material en movimiento adquiere una alta energía cinética, abarcando el área de depositación una amplia franja a los pies de la ladera.

El principal factor que condiciona la generación de caídas de rocas es la geometría de la ladera; ésta corresponde en general a laderas altas, de pendientes pronunciadas (mayores a 35°) y donde el macizo rocoso está fracturado.

- **Volcamientos (“topples”)**

Se denomina “toppling” a un tipo de movimiento en masa en donde un bloque de roca o suelo rota hacia adelante (hacia fuera de la ladera) alrededor de un pivote de giro en su parte inferior separándose del macizo; deriva en desprendimientos o deslizamientos según la geometría de la ladera; puede variar de extremadamente lentos (mayor a 16 mm/año) a extremadamente rápidos, a veces acelerándose durante el movimiento. Los volcamientos ocurren por acción de la gravedad, por empujes de la unidad adyacente o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).

- **Deslizamientos**

Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre generalmente a lo largo de una superficie de falla o debilidad. Este no se desarrolla en toda la superficie de ruptura, sino que comienza en fallas locales en las cuales se forma el escarpe principal; a menudo grietas de tensión son determinantes para los deslizamientos. Según Varnes (1978), los deslizamientos se clasifican según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, existiendo dos tipos: traslacionales y rotacionales, existiendo también deslizamientos compuestos en donde se observan ambos.

- **Deslizamientos Traslacionales**

Deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada (PMA, 2007a). En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden & Varnes, 1996). En un macizo rocoso, este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buzamiento hacia ésta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción (Hoek & Bray, 1981).

▪ **Deslizamientos Rotacionales**

Masa que se desliza sobre una superficie de falla curva o cóncava; generalmente en materiales homogéneos. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es auto-estabilizante, y éste ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas (PMA, 2007a).

2.2. Antecedentes Históricos y Sociales

2.2.1. Historia

Cobquecura (“pan de piedra” en Mapudungún) fue fundada el 11 de enero de 1575, por Alejandro Picero Carampangue siendo el poblado indígena de mariscadores, cochayuyeros y pescadores de orilla. En 1878 se concede el título de Villa a Cobquecura y se hace extensiva la ordenanza de recova, plazas y tendales. El año 1899 se integra como municipio de Cobquecura al Departamento de Itata y se procede a construir la iglesia parroquial, dos escuelas públicas, el registro civil y la oficina de correos y telégrafos, conformando una población de aproximadamente 700 habitantes (Díaz-Alarcón, 2012).

Buchupureo (“olas altas” en Mapudungún) por otro lado, fue fundada en el siglo XVII. Contando con aproximadamente 300 personas, se constituyó como un puerto en el cual se exportaba productos de campo, principalmente trigo, sebo y vinos (Díaz-Alarcón, 2012), y contaba con dos astilleros para las demandas del puerto. Este puerto tuvo gran importancia durante la fiebre del oro en California, para la exportación de cereales destinados a Estados Unidos. Dada la mala comunicación con las regiones colindantes, el puerto de Cobquecura no logró un mayor desarrollo y en la actualidad es una localidad enfocada principalmente al turismo y la agricultura.

Durante las últimas décadas, la comuna de Cobquecura ha sido declarado como un Santuario de la Naturaleza por el Consejo Nacional de Monumentos Nacionales (CNMN) adjudicado a los Islotes La Lobería, donde se concentra una colonia de lobos marinos, y la Iglesia de Piedra, que corresponde a una caverna rocosa de grandes dimensiones (Decreto N° 544, 1992). Este consejo también proclamó a la Villa de Cobquecura como Zona Típica (Decreto N°715, 2005) por su arquitectura histórica patrimonial. Además, la Iglesia de Piedra fue propuesta como Geosítio por la Sociedad Geológica de Chile (SGCH) por la gran cantidad de estructuras en las rocas aflorantes que develan la dinámica de la cámara magmática (Vásquez, 2013).

Las principales actividades económicas son agricultura, ganadería, pesca artesanal, comercio y servicios asociados al turismo. Con respecto a las actividades deportivas realizadas en la zona, éstas incluyen la rayuela, el rodeo, fútbol, y el “surf”, ésta última es la principal actividad practicada por los turistas.

2.2.2. Problemas Socio-Ambientales

Durante la década de los 70 hasta el presente, las empresas forestales, subsidiadas por el Estado de Chile (Decreto de Ley N° 701, 1974) han aprovechado las condiciones climáticas de la zona y las características favorables de los suelos (tipo VI y VII) para generar la forestación de *pinus radiata* y *eucaliptus globulus* en más

de un 65% del territorio comunal. Este cambio en el uso de suelo ha generado migración rural, aumento en la pobreza urbana, deterioro de los suelos por erosión hídrica, escases de agua para acuicultores, entre otros (PLADECO, 2014). Además, existe la exposición ante incendios forestales, que según estadísticas históricas de la CONAF han aumentado considerablemente entre el año 1964 y 2017 (Figura 2). Los efectos de los incendios forestales sobre la cuenca hidrológica pueden llegar a cambiar las características de infiltración y capacidad de erosión del suelo; disminuyendo la infiltración por precipitación, aumentando el flujo y escorrentía superficial de aguas de lluvias, favoreciendo la ocurrencia de procesos de remoción en masa (Cannon & Gartner, 2005).

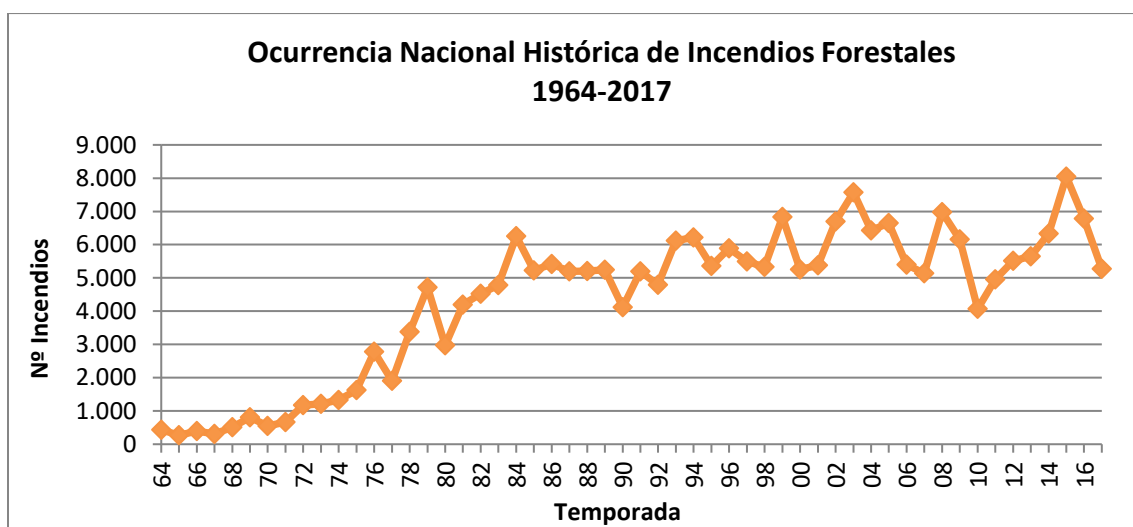


Figura 2: Ocurrencia Nacional Historica de incendios forestales entre los años 1964-2017, representan un total de 3.134.848 há afectadas. Elaborado a partir de datos estadísticos de la Corporacion Nacional Forestal (CONAF, 2017).

Otro problema socioambiental que ha surgido, generando un gran rechazo de parte de la comunidad, del grupo de Defensa Medioambiental “Todos somos Cobquecura” y del Municipio de Cobquecura en contra de la empresa Inversiones Pelicano S.A. la cual presentó proyectos al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en octubre y noviembre del 2015 para instalar 11 centros de cultivos acuícolas costeros de salmón, chorito, huiro y cojinoba en las costas de Cobquecura.

El rechazo de la comunidad nace ante el conocimiento previos del impacto negativo que generan los criaderos de salmones en Chile asociado al alto uso de medicamentos y pesticidas y al exceso de excrementos generados que son incorporados al mar (Millanao *et al.*, 2011). Como consecuencia contaminan y alteraran el ecosistema, poniendo en peligro las especies nativas (Soto *et al.*, 2001). Este impacto genera mayor conmoción dado que Cobquecura cuenta con el Santuario de la Naturaleza La Lobería.

2.2.3. Registro Sísmico

Según los registros históricos de eventos sísmicos y maremotos que han afectado las localidades de la Región del Biobío (Tabla 3) y entrevistas hechas a pobladores de la comuna de Cobquecura, se establece que ésta ha sido afectada reiteradas veces por sismos de intensidad mayor a 8.0 Mw, los que causando daños importantes a la infraestructura.

El sismo de mayor impacto, con una magnitud de 8.8 Mw, ocurrió el 27 de febrero, de 2010 (27F), con epicentro en las cercanías de Cobquecura (Tabla 3) que devastó la mayor parte del casco histórico de la ciudad. Gracias a que esta localidad es considerada una zona típica según el CMN, la reconstrucción se ocupó de preservar su arquitectura característica.

A diferencia de la mayoría de las localidades costeras de la Region del Biobío (Tabla 3) que presentan una alta amenaza de maremotos, la comuna de Cobquecura no ha sido afectada por la entrada del mar a causa de maremotos asociados a sismos de gran magnitud.

Tabla 3: Registro de sismos generadores de maremotos afectando localidades costeras dentro de la región del Biobío. Modificado de Lockridge (1985) y datos obtenidos del Servicio Hidrológico y Oceanográfico de la Armada (SHOA).

Año	Mes/Día	Mw	Run-up (m)	Epicentro	Lat. °S	Long. °W	Localidad Registro	Lat. °S	Long. °W
1562	oct-28	8.0	16.0	SC. CHILE	38.00	73.5	Concepción	36.83	73.05
1570	feb-08	8.8	4.0	SC. CHILE	36.80	73.0	Concepción	36.83	73.05
1575	dic-16	8.5	4.0	SC. CHILE	38.50	74.5	Concepción	36.83	73.05
1657	mar-15	8.0	8.0	SC. CHILE	37.0	72.8	Concepción	36.83	73.05
1730	jun-08	8.7	8.0	NC. CHILE	32.5	71.5	Concepción	36.83	73.05
1751	may-25	8.5	3.5	C. CHILE	36.5	74.0	Concepción	36.83	73.05
1819	abr-11	8.5	4.0	N. CHILE	27.0	71.5	Concepción	36.83	73.05
1835	feb-20	8.2	24.0	C. CHILE	36.8	73.0	Coliumo	36.48	72.70
1835	feb-20	8.2	4.0	C. CHILE	36.8	73.0	Tomé	36.63	72.95
1835	feb-20	8.2	9.0	C. CHILE	36.8	73.0	Talcahuano	36.67	73.17
1835	feb-20	8.2	-	C. CHILE	36.8	73.0	Penco	36.75	73.00
1835	feb-20	8.2	18.0	C. CHILE	36.8	73.0	Concepción	36.83	73.05
1868	ago-13	8.8	4.5	N. CHILE	17.7	71.6	Tomé	36.63	72.95
1868	ago-13	8.8	4.0	N. CHILE	17.7	71.6	Talcahuano	36.67	73.17
1868	ago-13	8.8	-	N. CHILE	17.7	71.6	Coronel	36.98	73.17
1877	may-09	8.8	0.8	N. CHILE	21.0	70.3	Tomé	36.63	72.95
1877	may-09	8.8	15.0	N. CHILE	21.0	70.3	Talcahuano	36.67	73.17
1877	may-09	8.8	-	N. CHILE	21.0	70.3	Penco	36.75	73.00
1877	may-09	8.8	-	N. CHILE	21.0	70.3	Buchupureo	36.08	72.77
1906	ago-17	8.3	1.5	C. CHILE	33.0	72.0	Tomé	36.63	72.95
1906	ago-17	8.3	1.5	C. CHILE	33.0	72.0	Penco	36.75	73.00
1952	nov-04	9.0	1.8	KAMCHATKA	52.2*	161.0*	Talcahuano	36.69	73.10
1957	mar-09	8.6	1.4	ALEUTIANS	51.3*	175.4	Talcahuano	36.69	73.10
1960	may-22	9.5	2.5	SC. CHILE	38.5	74.5	Tomé	36.63	72.95
1960	may-22	9.5	5.0	SC. CHILE	38.5	74.5	Talcahuano	36.69	73.10
1960	may-22	9.5	-	SC. CHILE	38.5	74.5	Concepción	36.83	73.05
1960	may-22	9.5	2.0	SC. CHILE	38.5	74.5	Coronel	36.98	73.17
1964	mar-27	9.2	2.5	ALASKA	61*	147.0	Talcahuano	36.69	73.10
1985	mar-03	8.0	-	SC. CHILE	33.1	71.6	Concepción	36.83	73.05
2010	feb-27	8.8	8.0	SC. CHILE	36.3	73.2	Concepción	36.83	73.05
2010	feb-27	8.8	12.0	SC. CHILE	36.3	73.2	Talcahuano	36.69	73.10
2010	feb-27	8.8	8.6	SC. CHILE	36.3	73.2	Dichato	36.54	72.93
2010	feb-27	8.8	6.3	SC. CHILE	36.3	73.2	Curanipe	35.84	72.63

*Latitudes/longitudes se consideran como N y E respectivamente. Magnitud de sismos obtenidas a partir de datos entregados por el Centro Regional de Sismología para América del sur, Centro Sismológico Nacional de Chile, y Servicio Geológico de Estados Unidos (Lockridge, 1985; SHOA, 2010; USGS, 2017)

2.3. Factores Condicionantes

2.3.1. Geología

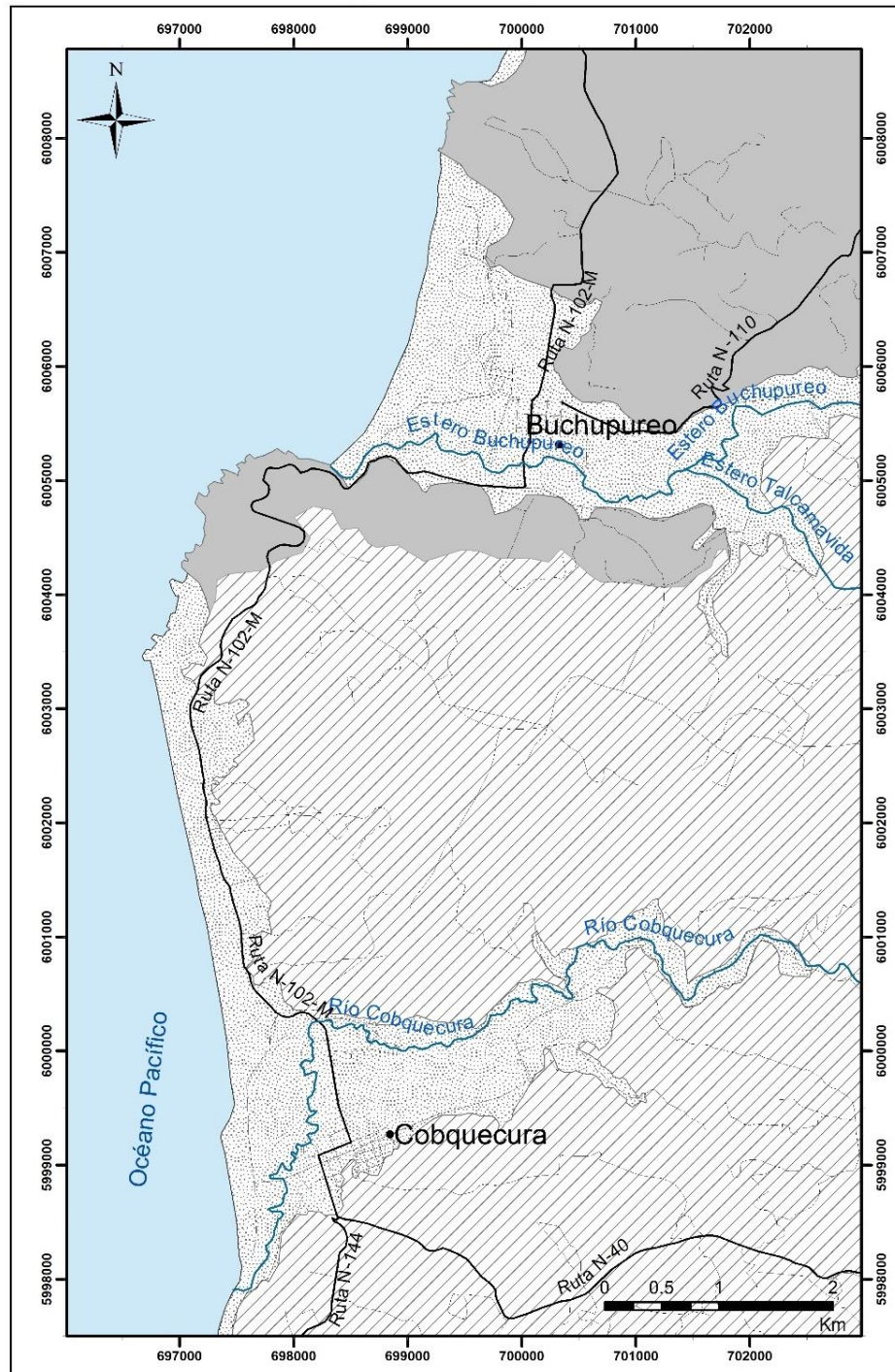
Es importante determinar en términos geotécnicos: el tipo de depósito existente, el material que lo compone, su densidad, plasticidad, humedad, permeabilidad, y en términos geológicos su litología, estructuras, alteración y meteorización. El tipo de depósito puede indicar la posibilidad de movilización; por ejemplo, depósitos aluviales, coluviales, escombros de faldas o antiguos deslizamientos son susceptibles a movilización y/o removilización (Hauser, 1993) debido a que sus condiciones geotécnicas como baja densidad y granulometría, entre otras, son propicias para remociones gatilladas por sismos; por otro lado, depósitos densos, arcillosos y rocosos con escasas fracturas son menos favorables (Jacoby, 2001). Según este mismo autor, la litología influirá en la resistencia a la meteorización y alteración de la roca. La caracterización estructural es fundamental para la generación de material detrítico o bloques, que serían susceptibles de ser removilizados. Estructuras como planos de estratificación, conjunto de diaclasas, grietas de tensión y fallas son las más comunes para la generación de deslizamientos o caídas de rocas (Opazo, 2014).

En el área de estudio, afloran las siguientes unidades geológicas: 1.- Basamento Metamórfico: Serie Oriental del Cinturón Metamórfico Pareado del Pérmico - Carbonífero (Willner *et al.*, 2005; Glodny *et al.*, 2006, 2008); 2.- Intrusivos Triásicos: Plutón Cobquecura Triásico Tardío (Vasquez *et al.*, 2005); y 3.- Sedimentos Paleógeno - Neógenos: Depósitos aluviales, fluviales y marinos (no descritos aún en el área de estudio).

La Serie Oriental que aflora en el área de estudio (Figura 3), perteneciente al Cinturón Metamórfico Pareado (Willner *et al.*, 2005; Glodny *et al.*, 2006, 2008), consiste en filitas, pizarras y metarenitas, que muestran un metamorfismo de muy bajo gradiente, hasta rocas anfibolitas y gneiss de metamorfismo de alto grado,

relacionado a la proximidad de los granitoides del Paleozoico Tardío (Hervé *et al.*, 1988; Vásquez *et al.*, 2009). Basado en datos petrológicos, estructurales e isotópicos, la Serie Oriental representa la subducción y deformación de sedimentos del prisma de acreción relacionado a la subducción y posterior intrusión de los granitoides del arco (Hervé *et al.*, 1988; Willner *et al.*, 2005; Glodny *et al.*, 2006). Los datos isotópicos disponibles de estas unidades indican que el metamorfismo ocurrió principalmente durante el Pérmico-Carbonífero (Willner *et al.*, 2005; Glodny *et al.*, 2006, 2008).

Las rocas intrusivas triásicas afloran como parte del Plutón Cobquecura (Figura 3) y muestran una variedad litológica y estructural amplia, predominantemente de composición monzogranítica con asociación de diques máficos que intruyen a la Serie Oriental del Cinturón Metamórfico Pareado. Es posible observar entre Buchupureo y La Iglesia de Piedra, el contacto intrusivo de granitoides y gabros con el basamento metamórfico, identificando diversas estructuras tales como diques compuestos sinplutónicos, complejos de redes de vetas, enclaves máficos, brechas magmáticas, y diques sinplutónicos leucocráticos con bordes difusos (Vasquez *et al.*, 2009).



Legenda

Sedimentos Cuaternarios
 Intrusivos Triásicos
 Basamento Paleozóico

Figura 3: Mapa geológico modificado por Vásquez (2008).

Estas unidades están parcialmente cubiertas por depósitos sedimentarios paleógenos y neógenos que no han sido descritos en detalle y serán caracterizados brevemente más adelante.

2.3.2. Geomorfología

La geomorfología es fundamental y determinante en la susceptibilidad a la generación de remociones en masa. Rasgos como la topografía, pendientes y altura de las laderas, afectan directamente la velocidad, energía y volumen de las remociones en masa que puedan originarse (Opazo, 2014).

La comuna de Cobquecura se encuentra inserta en la zona costera donde existen tres grandes unidades geomorfológicas: la parte occidental de la cordillera de La Costa, los valles intermontanos y las planicies litorales. Por su parte, cada una de estas unidades presentan diversas formaciones y procesos que derivan en la erosión y sedimentación, modelando así las formas típicas del relieve (Maldonado, 2012).

La cordillera de la Costa se presenta irregular y acolinada, incluso amesetada con altitudes que no superan los 500 metros; su orientación hacia el poniente la mantiene expuesta de forma permanente a la humedad, por lo que ha sido intensamente forestada con plantaciones exóticas de pino y eucaliptus, ya que la abundante humedad en el ambiente favorece el crecimiento de estas especies.

Los valles o quebradas intermontanas, son en general estrechos y profundos como consecuencia del predominio de procesos de erosión fluvial por sobre la depositación, ya que las aguas de los cursos de corto recorrido, en época de lluvias intensas escurren rápidamente en dirección de la pendiente, canalizando las aguas lluvias y transportando sedimento hacia las zonas bajas (planicies litorales).

La tercera unidad, corresponde a las planicies litorales, cuyo origen se explica por las transgresiones marinas y posteriores depositaciones de material fino, como arenas y limos. Esta unidad ha dado vida al desarrollo de agricultura y ganadería siendo éste un aspecto muy típico de la comuna, observándose cultivos muy cerca de la costa.

En un nivel de mayor detalle, se reconocen formas de abrasión marina que son testigos de procesos geomorfológicos pasados, como los acantilados, que reflejan las transgresiones y regresiones marinas (debido a la interacción entre cambios eustáticos del nivel del mar y periodos de alzamientos tectónico) acaecidas durante el Neógeno, asociadas a periodos interglaciares (PLADECO, 2014).

En cuanto a los procesos de sedimentación, es importante mencionar la formación de campos dunarios, principalmente de tipo transversal al viento, con topografía monticular. Otra manifestación sedimentaria la presentan las playas o acumulaciones arenosas, caracterizadas por corresponder a sectores planos y extensos, de arenas finas (Maldonado, 2012). De acuerdo a lo anterior se origina una depositación de sedimentos constituidos principalmente por arcillas y limos, presentando una alta permeabilidad y por ende una mayor saturación edáfica.

En relación al sector de quebradas es posible mencionar algún tipo de erosión lineal, principalmente caracterizado en regueras y cárcavas que, debido a la débil consistencia del suelo y rocas, generan hilillos en algunos casos, los que con el tiempo van profundizándose y generando desgastes mayores. Este tipo de erosión lineal se produce esencialmente por el tipo de pendiente, suelo, precipitaciones y escasa cobertura vegetal.

El material erosionado es depositado en el mar, y en él ocurre un efecto de traslado mediante la actuación de la deriva litoral, cuya corriente se proyectaría hacia el norte de forma paralela a la línea de costa, entre la orilla y la zona rompiente (Tarbuck y Lutgens, 2005). Por último, es importante mencionar que debido a la pendiente

existente y el oleaje se genera una formación de micro acantilados arenosos de aproximadamente 1 m de altura en playa La Boca de Buchupureo.

2.3.3. Clima y Vegetación

La comuna de Cobquecura presenta un clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses; su régimen pluviométrico es de origen ciclónico, cuyas precipitaciones están distribuidas principalmente entre los meses de abril a octubre, con humedades atmosféricas significativas en el sector costero (microclima de Cobquecura) por la influencia del mar y no tan importantes a medida que se acerca a la cordillera.

Los vientos dominantes provienen del sur oeste en la primavera y verano, asociados a periodos de buen tiempo, y del noroeste en el invierno con actividad ciclónica, que origina mal tiempo y precipitaciones.

Considerando la variabilidad temporal y espacial de eventos de precipitaciones en la zona costera de la región del Biobío, en Cobquecura, la temperatura media anual es de 16 ° C y la precipitación media aproximada es de 733,1 mm (Freemeteo, 2017) entre los años 2009 y 2017.

Por otro lado, el uso del suelo es mayoritariamente: bosques derivados de plantaciones forestales, praderas para forraje, terrenos agrícolas y, finalmente las áreas de matorrales o sin vegetación, urbanas e industriales.

2.3.4. Hidrología

El área de estudio se encuentra drenada por cursos de agua a nivel local; la cordillera costera presenta quebradas con caudal estacionario; la unidad de valles centrales con esteros y ríos; y el borde costero con lagunas de encauzamiento.

Los cursos de agua más importante son el estero Buchupureo y el río Cobquecura; de carácter parcialmente estacional por presentar una mayor cantidad de agua en invierno siendo las precipitaciones las que determinan su alimentación y caudal.

Por último, en el borde costero se destaca la presencia de lagunas de encauzamiento o estuarios localizadas en forma paralela a la línea de costa, siendo consecuencia directa de la poca pendiente y del cierre generado por las altas mareas que impiden el libre desagüe de las aguas hacia su encuentro con el mar (Maldonado, 2012).

Desde el punto de vista hidrogeológico, las zonas llanas, en la planicie costera, son áreas de acuíferos con abundante agua y un nivel freático superficial, mientras en las zonas de lomas y serranías de la Cordillera de La Costa, la disponibilidad de agua subsuperficial es limitada, por lo que los pozos utilizados para el abastecimiento de agua se construyen a profundidades, que en ocasiones superan los 50 metros con rendimientos que no son los óptimos (comunicación verbal pobladores, 2017).

2.3.5. Actividad Antrópica

El área de estudio está altamente intervenida por acciones antrópicas en los componentes vegetal y urbanos. Los efectos de la actividad antrópica son la disminución artificial de la resistencia del material, y eventualmente aporta material para ser movilizado, contribuyendo al aumento de la susceptibilidad de remociones en masa.

La intervención antrópica vegetal corresponde a la plantación de monocultivos de bosques y de siembras agrícolas, para la generación de celulosa y para la agricultura, respectivamente. Estas plantaciones requieren del movimiento de suelo periódico; anual, en el caso de las siembras para mejorar su estructura y cada 20-

30 años, en el caso de los bosques de pino radiata (CONAF, 2013). El cambio reiterado de suelo genera una degradación en la calidad y estabilidad del mismo.

La intervención urbana corresponde a la construcción de caminos, estructuras, urbanización, rellenos, excavaciones. El presente trabajo se focaliza principalmente, en la ruta costera N-102-M, única vía que conecta las regiones de Biobío y Maule e incluye la punta de Surf Buchupureo, el cual es el principal atractivo tursístico de la localidad de Buchupureo debido a su interés surfístico, que presenta procesos de remociones en masa que obstaculizan esta única vía de acceso.

Los trabajos de la ruta N-102-M finalizaron durante el año 2009 (Dirección de Vialidad, 2016) y desde entonces se ha presentado la activación anual de eventos de remociones en masa. A lo largo de esta ruta se pueden observar varios procesos de remociones en masa activos con algunas obras de mitigación aplicadas para remediar los daños causados a la vía. Estas obras de mitigación consisten en gaviones y muros de contención que no logran detener la ocurrencia de estos eventos durante las temporadas de precipitaciones intensas que se concentran entre los meses de mayo a octubre.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de susceptibilidad del área de Buchupureo se llevó a cabo aplicando la metodología propuesta por Lara (2007) para análisis de susceptibilidad y peligro de remoción en masa, con la cual se identificaron zonas críticas para la generación de este tipo de procesos. La metodología utilizada presentó 9 etapas, las cuales se desarrollaron en trabajo de terreno, en gabinete y en laboratorio.

3.1. Etapa de Gabinete 1: Diagnóstico

Se comenzó con una recopilación bibliográfica para determinar la escala adecuada para cumplir con el objetivo. También se realizó una revisión bibliográfica detallada de los estudios de riesgos geológicos asociados a remoción en masa, inundaciones por ríos, mar, y maremotos realizados en las localidades en estudio. Por otro lado, se revisaron planes reguladores y otros estudios técnicos con información relevante al clima, suelos, geología, pendiente, cobertura vegetal y registro de sismos. Además, se investigó las ocurrencias históricas de eventos catastróficos relevantes de carácter sísmico o de naturaleza similar, que afectaron el área de estudio desde los años 1570 hasta el presente, siendo solo dos los que generaron gran destrucción: 20 de febrero, 1835 y 27 de febrero, 2010 (Lockridge, 1985)).

La información utilizada para el área de estudio se refiere a los siguientes informes y documentos:

- Instrumentos de Planificación Territorial de comunas costeras de la región del Biobío (Planes Reguladores Comunes, Planes de Desarrollo Borde Costero y Turísticos, División Política Administrativa), vigentes; expedientes de los estudios y memorias explicativas, Estudio de Zonificación del borde costero regional.

- Estudios de riesgos realizados por la Universidad del Biobío a partir del terremoto del 27F; actualizaciones de Planes Reguladores Comunes en su componente de riesgos naturales.
- Censo de Población y Vivienda del año 2002 (INE, 2002)
- Bases digitales gráficas de la zona costera e imágenes satelitales ©2004-2017 Google.

Además, a partir de los mapas de elevación digital (ASTER, 2011) se analizaron mapas de pendientes e imágenes satelitales, para hacer una clasificación preliminar de las unidades geomorfológicas.

3.2. Etapa de Terreno

Esta etapa estuvo enfocada a la realización de un mapa a la escala de trabajo definida 1:50.000, que reuniera la información recolectada en terreno (mapeo geológico básico que permitiera la delimitación espacial de las unidades de suelo y roca en la zona) y la información recopilada en la etapa de revisión de antecedentes. La confección del mapa fue acompañada de la caracterización geológica, geomorfológica, estructural, y geotécnica de propiedades in-situ de las unidades de roca y de suelo presentes, y condiciones antrópicas. Además, fue necesario determinar la distribución general de la vegetación existente, que permitiera comparar la estabilidad de laderas sobre la base de este factor e identificar zonas que no han sufrido removilizaciones relativamente recientes de material por estar provistas de densidades importantes de vegetación.

Dentro de la información geomorfológica los rasgos más relevantes considerados corresponden a las pendientes de laderas, sus alturas, exposición al sol y geometrías asociadas. También fue necesario identificar, delimitar y describir unidades geomorfológicas como terrazas, abanicos aluviales, escarpes de falla, y escarpes de remoción en masa antiguos y recientes, además de caracterizar drenaje del área y el encajonamiento de los cauces y quebradas.

Tomando en cuenta lo anterior, se confeccionó un mapa 1:10.000 de áreas de interés que presentaron importantes procesos de remociones en masa, los cuales afectaron a las vías públicas o a construcciones de uso habitacional.

3.3. Etapa de Gabinete 2: Mapa de Susceptibilidad y Evaluación de Peligrosidad

Esta etapa, que se desarrollo a continuación de las anteriores y se centró en dos puntos principales, de acuerdo a la metodología de Lara (2007), utilizando el programa de ArcGIS, para la confección de mapas temáticos, y la evaluación de susceptibilidad.

- División de la zona de estudio en diferentes áreas temáticas. Esta etapa consistió en dividir la zona de estudio en unidades con rasgos geomorfológicos y geológicos similares como son la orientación de la ladera (aspecto), la pendiente, litología y tipos de depósitos. Además, se dividió la zona considerando las características mecánicas del suelo, tipo y densidad vegetal, actividad antrópica, y eventos históricos.
- Evaluación de la susceptibilidad a remociones en masa. Habiendo dividido la zona de estudio en unidades segun los criterios mencionados,-se procedió a evaluar la susceptibilidad a la generación de remociones en masa mediante el cálculo de un Índice de Susceptibilidad (IS). Este índice se basó en la suma de los puntajes ponderados para cada uno de los factores condicionantes de remociones en masa. Como la incidencia de los factores condicionantes varía según el tipo de remoción en masa, el cálculo del IS se realizó por separado. De esta manera, cada unidad tuvo un IS asociado a deslizamientos y a caídas de manera independiente. El resultado de esta fase es un mapa de susceptibilidad para cada uno de los tipos de remociones en masa estudiadas, con un Índice de Susceptibilidad (IS) comparable que varía entre 0% y 100%.

- Evaluación de peligrosidad. Las áreas con $IS \geq 50$ se consideraron como susceptibles y se seleccionaron para análisis específicos de peligrosidad. De acuerdo al proceso de remoción en masa identificado se evalúa la peligrosidad con un programa de Rocscience específico. Para el caso de los deslizamientos rotacionales se utilizó el programa de Slide, considerando datos promedios medidos de los eventos de mayor alcance, para estimar la probabilidad de falla. En el caso de caída de rocas se utilizó el programa de Dips para establecer si se cumplió con los criterios para llevar a cabo la modelación por medio del programa de Rocfall.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Geología

La cordillera de la Costa corresponde a un complejo de acreción paleozoica intruído por batolitos de edad triásica (Kato, 1985). Dentro de la zona de estudio la cordillera está delimitada hacia el W por el mar, dejando en evidencia la influencia de diferentes niveles de terrazas de abrasión marina que indican cambios eustáticos de edades mayores a 135 ma (Jara-Muñoz *et al.*, 2015) con depósitos recientes holocenos fluviales, eólicos y coluviales de edad holoceno-reciente, sobreimpuestos a éstas. El área de estudio está altamente cubierta por vegetación limitando la exposición de afloramientos de las unidades.

- **Unidad Paleozoica Metamórfica (UPM)**

Corresponde a filitas ricas en cuarzo pertenecientes a la Serie Oriental del Cinturón metamórfico pareado de bajo P/T correspondiendo al prisma de acreción (Pérmico-Carbonífero; Vásquez *et al.*, 2009); presenta una foliación predominante EW/15°-25°S, con afloramientos distribuídos en toda el área de estudio, más notoriamente en las laderas con exposición hacia el norte presentando pendientes elevadas en el valle de Cobquecura (Figura 5) y en las laderas a lo largo de la costa orientadas hacia el oeste. La unidad está baja a moderadamente fracturada, y tienden a ser planar a levemente sinuosa.



Figura 4: (A) Afloramiento de Unidad Paleozoica Metamórfica (UPM) ladera sur de Valle Cobquecura. (B) Foliación de filitas.

- **Unidad Triásica Intrusiva (UTI)**

La UTI intruye a la UPM y está constituida predominantemente por roca gabroica intruida por diques de composición tonalítica, cuarzo-monzodiorita, granodiorítica y granítica (Vásquez *et al.*, 2005). Esta unidad se encuentra distribuida en la parte norte del area de estudio rodeando el valle de Buchupureo, donde sus afloramientos se observan con mayor claridad solo en la planicie litoral, ya que hacia el interior están restringidos a cortes de caminos y canteras; está moderada a fuertemente fracturada, siendo éstas fracturas planar y poco rugosa; presenta una zona de cizalle con orientaciones preferenciales de N40°-65°W y manteos subverticales, que se logran identificar por la ladera sur del valle de Buchupureo. La unidad muestra

un alto grado de meteorización y alteración frente a la exposición marina, en comparación a los afloramientos más hacia el interior (Figura 6).

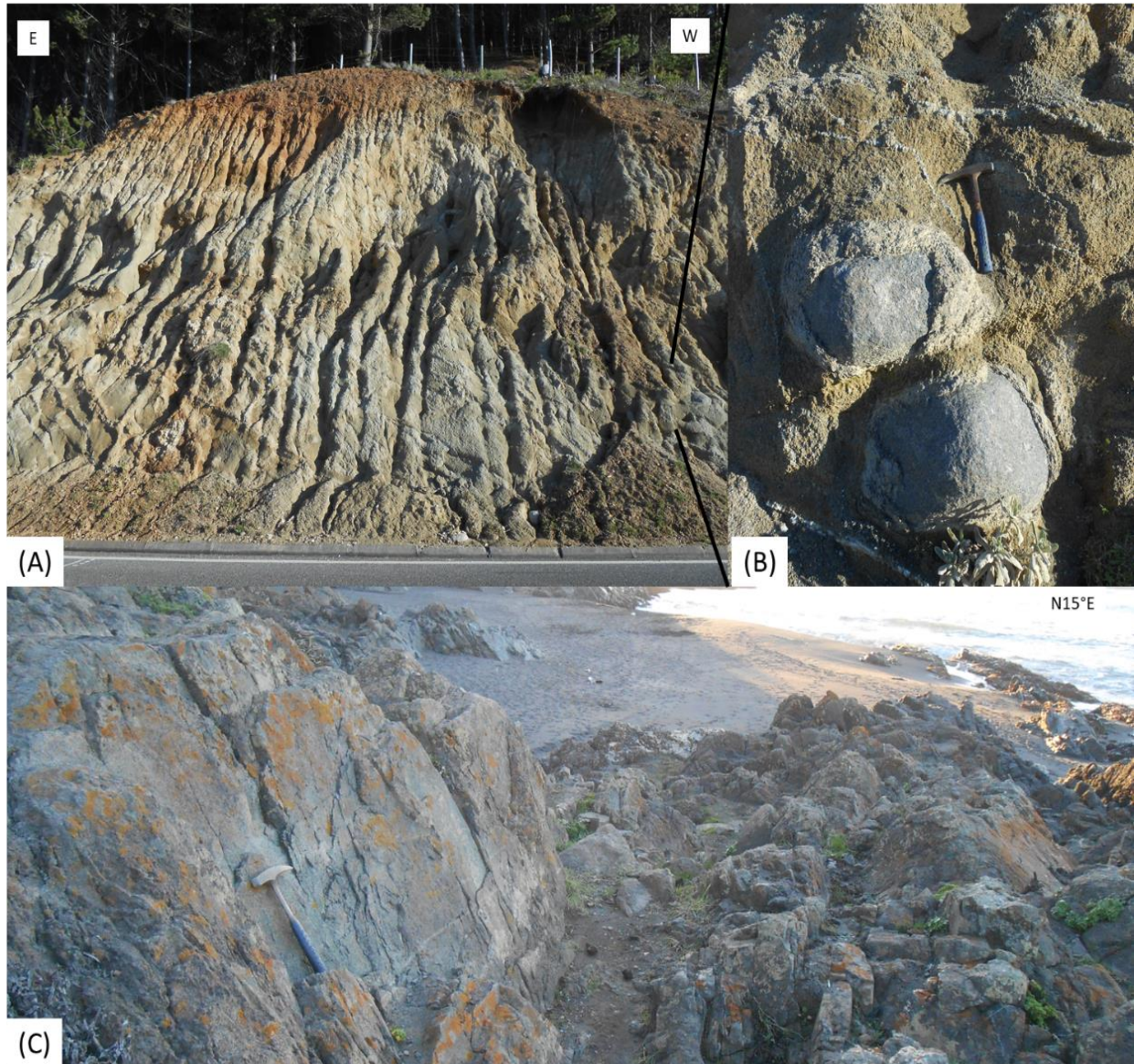


Figura 5: Afloramiento de Unidad Triásica Intrusiva (UTI). Las imágenes corresponden a: (A) Corte de camino, evidencian el perfil de meteorización. (B) Fenómenos de meteorización esferoidal, además de la conservación de fracturamiento y diaclasas relictas, en donde las que se infieren las características originales de la roca. (C) Misma unidad, aflorando a una cota inferior a nivel del mar.

- **Unidad Sedimentaria T2**

Esta unidad ha sido difícil de identificar, posiblemente porque sus afloramientos han sido erosionados y/o cubiertos por depósitos coluviales o vegetación; corresponden a depósitos marinos formando mesetas de terrazas de abrasión marina (T2) que afloran entre los 40 - 80 m s.n.m. Al norte de la Iglesia de Piedra, esta unidad aflora en la parte superior de la meseta, y corresponde a areniscas negras, sobreyacentes a la UTI separadas por un contacto difuso; presentan un espesor de aproximadamente 2m y no es posible identificar estructuras sedimentarias. La génesis de esta unidad se puede correlacionar a una terraza de abrasión marina descrita por Jara-Muñoz *et al.*, (2015) por la morfología, litología, y altura de afloramiento que presentan en la que indica una edad Cretácica Inferior (<135 Ma) posiblemente representando la Etapa Isotópica Marina 5 (Marine Isotope Stage, MIS).

En la desembocadura del río Cobquecura aflora una intercalación de arcillas, areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados de color pardo (Figura 7) presentando estratificación cruzada, y estrato decreciente; presenta un contacto erosivo de conglomerados basales con la Unidad Paleozoica.

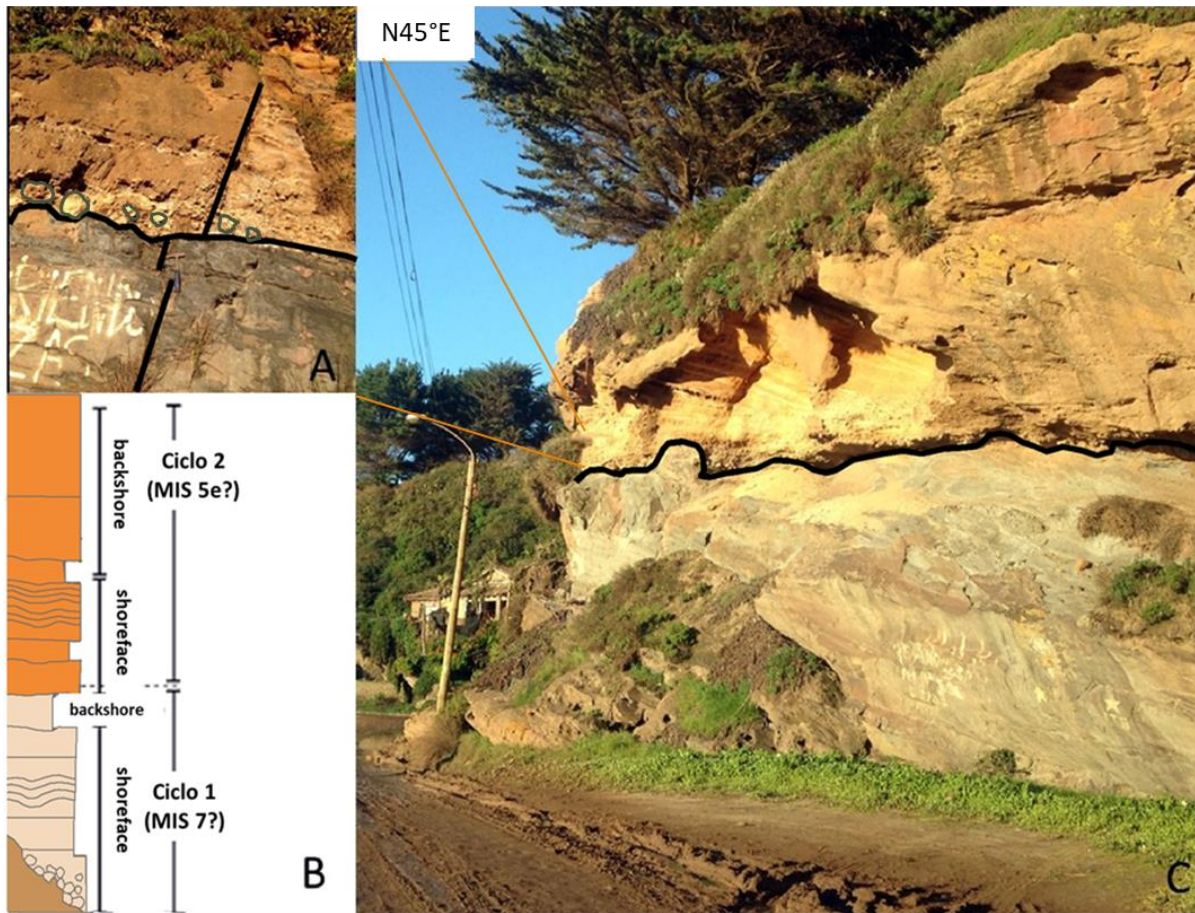


Figura 6: Afloramiento de Unidad Sedimentaria (A) Contacto entre unidad sedimentaria y unidad paleozoica donde se distinguen los conglomerados basales. (B) Columna estratigráfica modificada de Jara-Muñoz *et al.* (2015) en la cual se identifica la Unidad Sedimentaria como parte del ciclo 1 (MIS 7). (C) Estratificación cruzada en afloramiento de unidad sedimentaria.

- **Unidad Sedimentaria T1**

Estos depósitos sedimentarios que rellenan los valles Buchupureo y Cobquecura; corresponden a depósitos marinos provenientes del último ciclo de transgresión y regresión marina.

- **Depósitos coluviales (subactuales)**

Estos depósitos cubren gran parte de las laderas de baja pendiente, y corresponden a bloques, gravas, arenas y arcilla. Es posible distinguir clastos redondeados posiblemente proveniente de los depósitos de la Unidad Sedimentaria T2, y bloques de origen metamórfico (Figura 8); están principalmente cubiertos por vegetación y afloran solo en cortes de caminos.



Figura 7: Depósitos coluviales con predominancia de clastos provenientes de la Unidad Paleozoica Metamórfica (UPM) en la ladera sur del valle de Cobquecura.

- **Depósitos eólicos (subactuales)**

Se observa en el bore litoral al norte de la desembocadura de los ríos Buchupureo y Cobquecura. Corresponden a dunas relictas constituidas por arenas medias de color negro bien seleccionadas.

- **Depósitos fluviales (actuales)**

Depósitos activos asociados a los cauces principales de los valles sobre la Unidad Sedimentaria (T1). Estos caudales corresponden al estero Buchupureo cuyas aguas fluyen de E-W por el valle de Buchupureo, y al río Cobquecura que corre en dirección NE-SW por el valle homónimo.

- **Depósitos de inundación (actuales)**

Estos depósitos estacionarios se distribuyen en bajos topográficos a lo largo de la Unidad Sedimentaria (T1) generados por desbordes de agua de los cursos de agua principales luego de precipitaciones intensas.

4.1.1. Geología Estructural

- **Lineamientos**

En el área de estudio es posible diferenciar 3 tipos de lineamientos, que se clasifican según su importancia, la que se expresa en longitud sobre el modelo de elevación digital empleado para el estudio del área de trabajo (Figura 9).

La clasificación empleada se fundamenta en la metodología de Davis y Reynolds (1996) que indican que:

- Lineamientos tipo A, son definidos por grandes estructuras, relacionados a fallas regionales, grandes rasgos producto de nivelación isostática, entre otros; resultando en general como consecuencia de la actividad tectónica imperante en las distintas épocas. En el área de estudio estos lineamientos corresponden a aquellos con direcciones preferenciales NE-SW y WNW-ESE.
- Lineamientos tipo B, caracterizados para magnitudes intermedias y considerados como productos de estructuras sintéticas y antitéticas asociadas a estructuras de tipo A. Corresponden a aquellos lineamientos con dirección NW-SE y NNE-SSW.
- Lineamientos tipo C, utilizados para definir estructuras lineales de menor envergadura, relacionada en su mayoría con efectos de la descompresión por exhumación de las unidades aflorantes. Corresponden a los lineamientos con dirección preferencial N-S, E-W, ENE-WSW, y NNW-SSE.

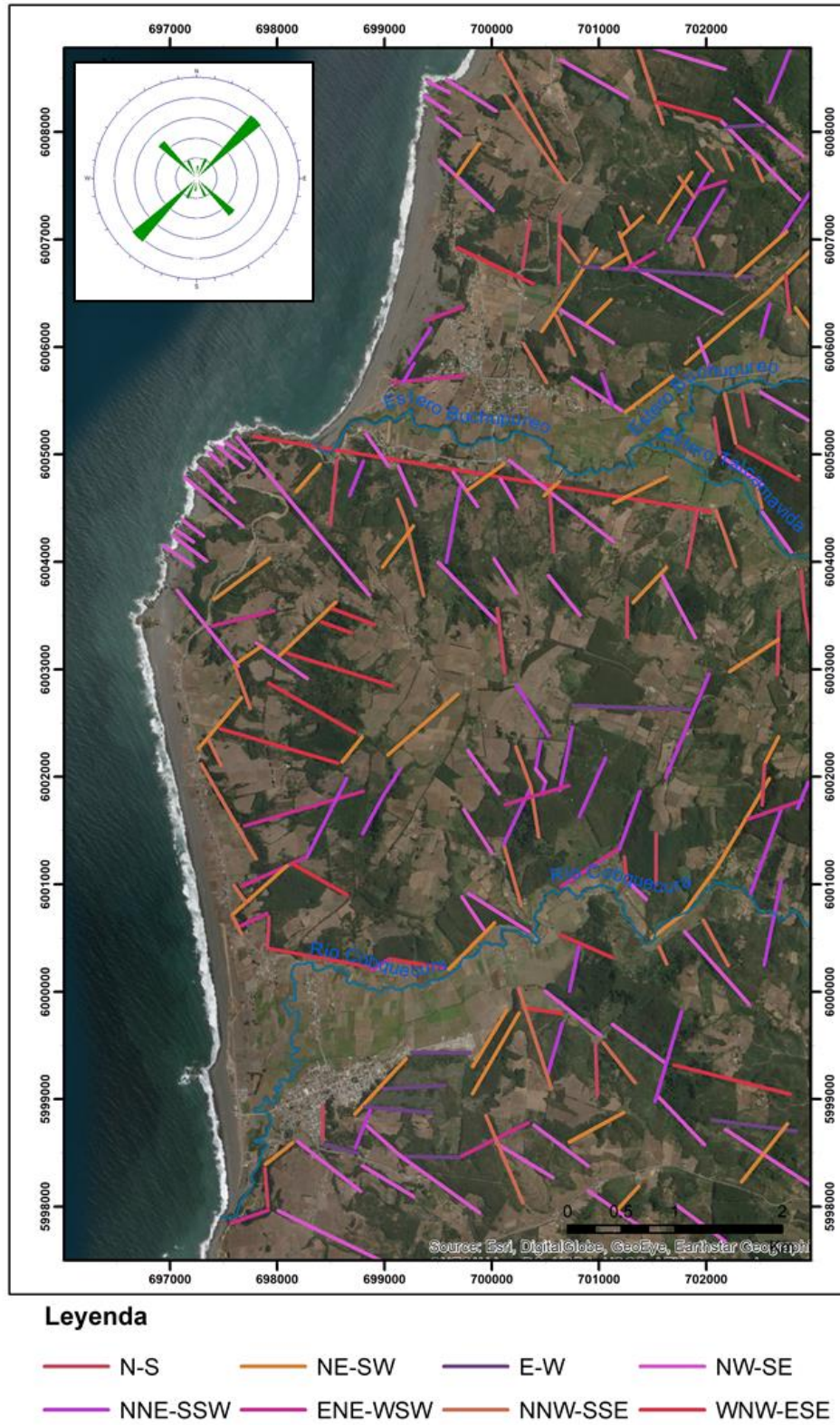


Figura 8: Lineamientos principales dentro del área de estudio. Google Earth, 2018.

- **Diaclasas**

En la zona de estudio se observan diferentes juegos de diaclasas, los cuales se presentan de manera sistemática, ordenándose en forma paralela o sub-paralela y con un espaciamiento regular entre ellas. Se logra identificar familias principales de diaclasas para las unidades ígneas y metamórficas. En la Figura 10 se observa que para la UTI (Figura 10, A) predomina una orientación NW-SE con un manto promedio de 80° hacia el NE. Para la UPM (Figura 10, B) predomina el sistema de diaclasas con orientación NNW-SSE.

Se destaca además la existencia de un diferencial de fracturamiento en las dos unidades. Dado que las rocas metamórficas presentan una mayor resistencia al fracturamiento que las rocas intrusivas, estas últimas, presentan una mayor densidad de fracturamiento.

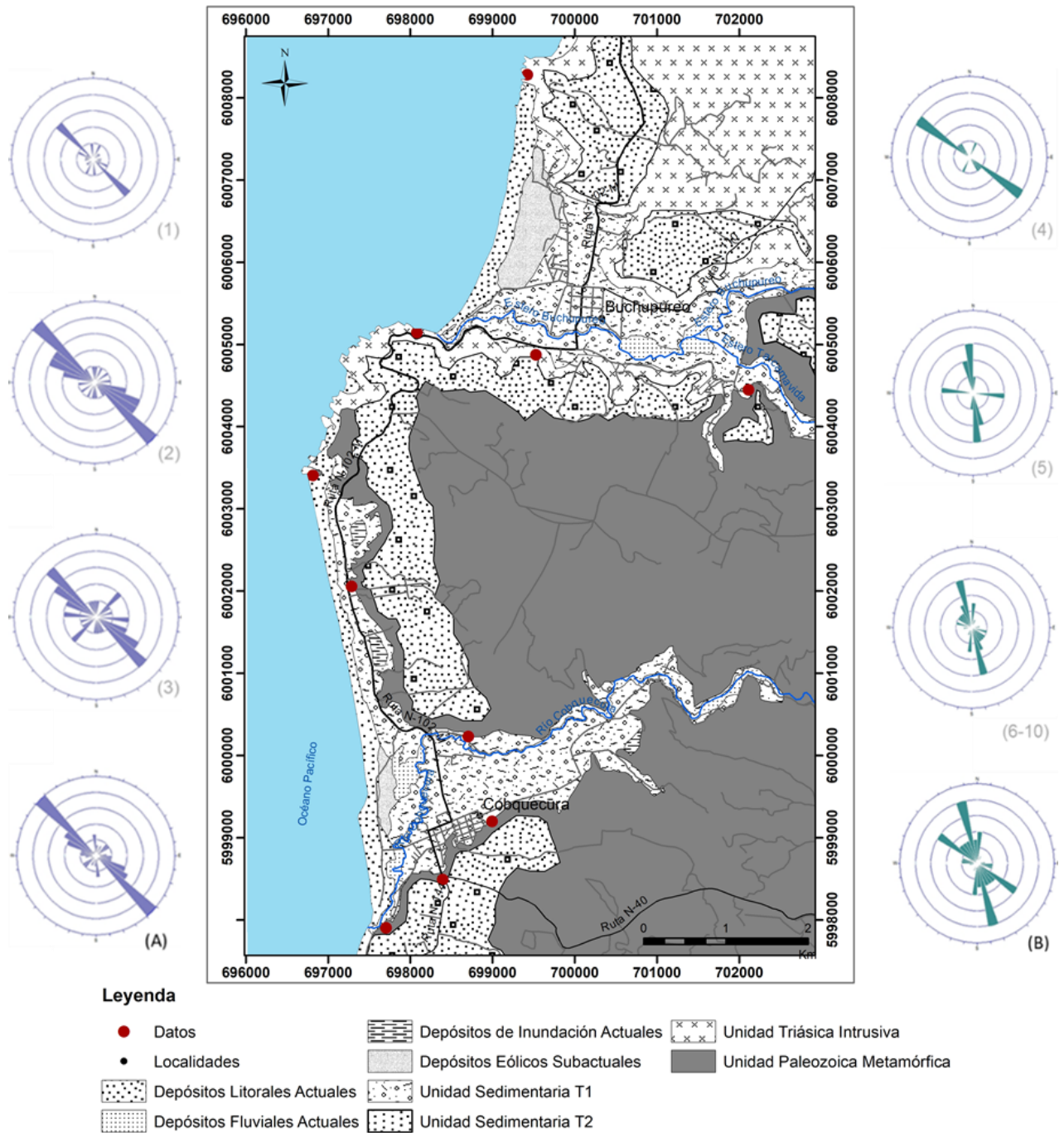


Figura 9: Rosetas (Dips) de datos estructurales totales de diaclasas para las Unidades Triásica Intrusiva (A) y Unidad Paleozoica Metamórfica (B). Los puntos rojos indican las ubicaciones geográficas en las cuales se obtuvo los datos.

4.2. Geotécnia

Las características y propiedades geotécnicas del suelo resultan de observaciones de terreno y bibliografía. Se observan procesos de remociones en masa activos en suelos residuales de las unidades de rocas metamórficas e ígneas que presentan niveles de suelos con componentes orgánicos (horizontes IA, Figura 11) de poco espesor.

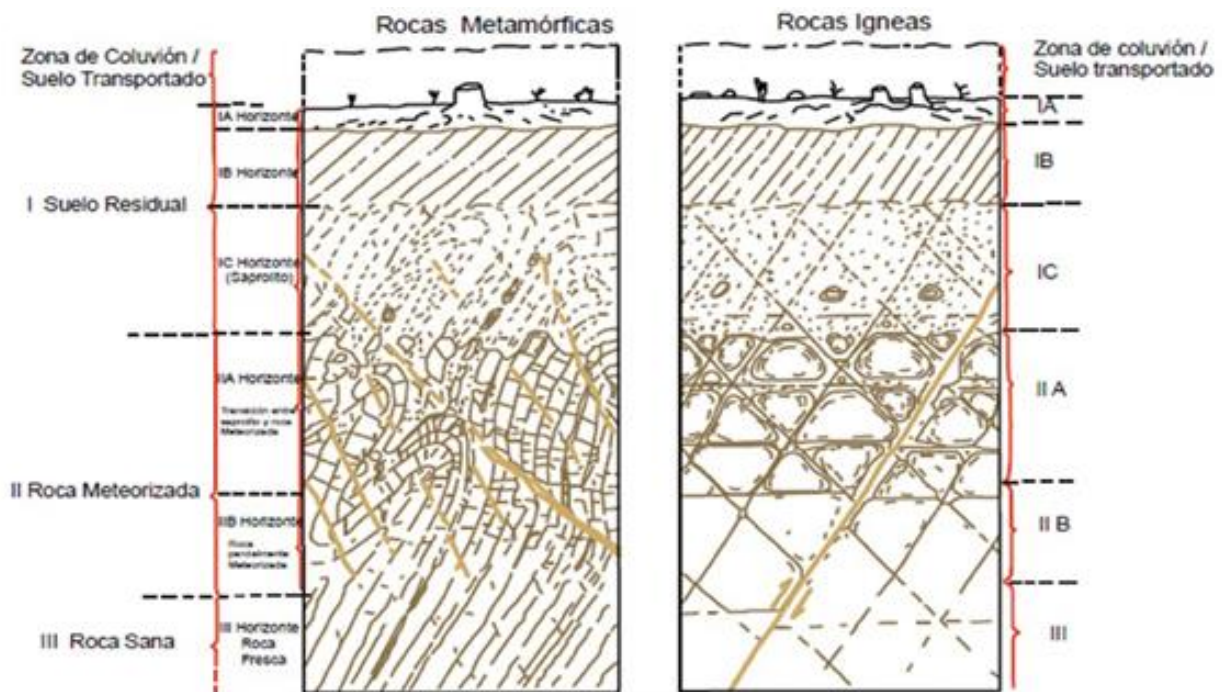


Figura 10: Perfil de meteorización para rocas metamórficas e ígneas (Deere & Patton, 1971). Ambos tipos de rocas afloran en el área de estudio.

En este estudio no se realizaron ensayos para determinar las propiedades mecánicas de los materiales, y siendo además muy escasa la información bibliográfica sobre suelos meteorizados, la caracterización geotécnica realizada se basa en el perfil de meteorización de suelo de Suarez Díaz (1998) y en las descripciones de las series de suelos Buchupureo y Cobquecura (DPDU, 2010).

De acuerdo a esas descripciones y las realizadas en terreno considerando los criterios geológicos, se clasifican los suelos de permeabilidad moderada, con buena a moderada retención de humedad y drenaje imperfecto. Con respecto a las capas subyacentes al horizonte IA-IB descritos, los espesores varían entre 2 y 10 m y máximo 2 m para la UTI y UPM, respectivamente, para el nivel de suelo IC.

Los niveles de suelo IIA e IIB afloran con espesores variados; la UPM presenta mayoritariamente estos niveles de suelo meteorizado a lo largo de toda el área de estudio. Por otro lado, la UTI, con exposición y cercanía al mar en alturas superiores a los 40 m s.n.m., presenta niveles de suelo IIA e IIB de espesores máximos de 5 m, en contraste con afloramientos alejados de la exposición del mar que presentan espesores mayores a 20 m.

4.1. Geomorfología

En el área de estudio están comprendidas dos unidades morfoestructurales; a) la cordillera de la Costa, constituida por las unidades UTI y UPM formando las cimas más altas del área; y b) la planicie litoral, generada a partir de transgresiones y regresiones marinas del Pleistoceno y Holoceno, formando los valles y escalones de alturas aproximadas entre 60 y 80 m que cortan las unidades triásicas y paleozoicas.

La cordillera de la Costa forma una morfología de costa rocosa formada por el basamento, planicies litorales y valles formados por terrazas de abrasión marina sobreimpuestas por depósitos marino-litorales, coluviales y eólicos.

La zona estudiada corresponde a una superficie aproximada de 77 km², comprende dos valles amplios con dirección preferencial E-W formados por terrazas de abrasión marina sobreimpuestos por la acción fluvial de los ríos Buchupureo y Cobquecura que cruzan los valles del mismo nombre, dado por los nombres de las localidades situadas sobre estos valles (Figura 4). Los cerros presentan una altura

máxima de ca. 400 m s.n.m. con una forma escalonada y laderas de pendientes promedios mayores a 30° disimulados por la cobertura de depósitos coluviales, formados por escarpes de un segundo nivel de terrazas de abrasión marina de altura entre 40 y 80 m s.n.m.

Las laderas con orientación hacia el norte presentan mayor exposición al sol y frentes de mal tiempo generando pendientes naturales con mayor grado de inclinación alcanzando hasta 60°. Por otro lado, las laderas con orientación hacia el W presentan mayor humedad y alteración en la roca por influencia de las brisas marinas. Cabe destacar que dentro del análisis de pendientes no se identifican ángulos de inclinación tan altos como las asociadas a la construcción de caminos, en especial a la ruta N-102-M donde los ángulos varían entre 50°-70°.

Las costas están retrabajadas por la acción del oleaje, formando playas angostas y alargadas en las desembocaduras de los ríos y pequeñas entradas de playa entre macizos de roca que en algunos casos son aislados por erosión formando arcos y cuevas como el caso de la Iglesia de Piedra de Cobquecura.

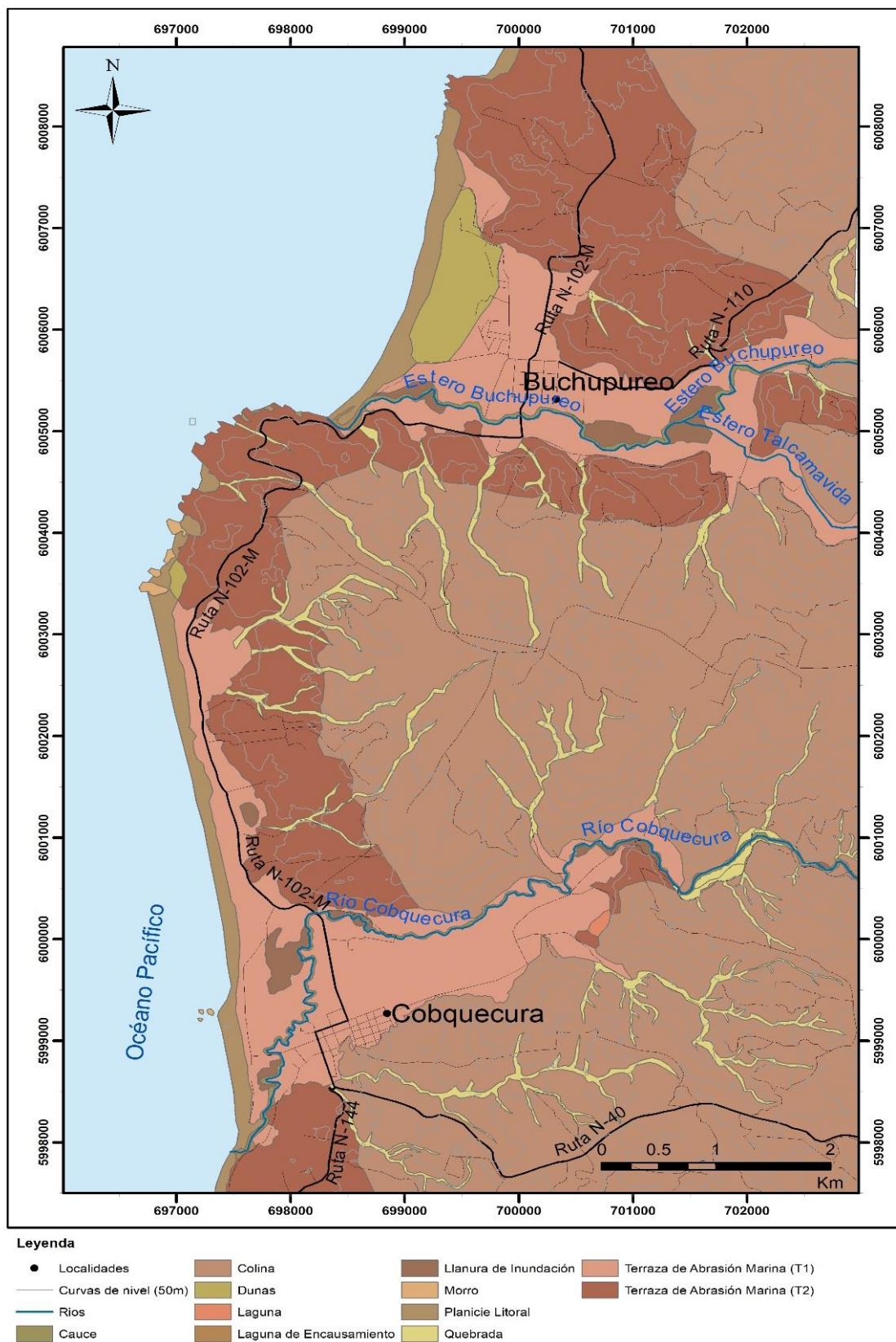


Figura 11: Mapa geomorfológico área Buchupureo-Cobquecura.

4.2. Clima y Vegetación

Considerando que el área de estudio se ubica en una zona con altas precipitaciones en invierno y humedad ambiental durante la mayor parte del año, la vegetación es abundante. La cobertura vegetal corresponde principalmente a plantaciones y monocultivos de eucaliptus y pino radiata, y a siembras de trigo, avena, alfalfa, pasto, u hortalizas. La flora nativa se restringe a algunas quebradas o parches alcanzando un máximo de 5% de la cobertura vegetal del área de estudio.

A diferencia de la ponderación de este factor de vegetación que propuso Lara (2007) en la Quebrada San Ramón, la densidad vegetal en la comuna de Cobquecura, es específico para el caso de monocultivos de bosques, este provoca un efecto favorable para la generación de procesos de remociones en masa. Dado que la densidad vegetal llega a ser tan alta (aproximadamente 1.250 plantas/hectaria), se genera una carga excesiva sobre los suelos, que favorece la gestación de deslizamientos rotacionales.

Por otra parte, estos árboles necesitan de una gran cantidad de agua, para ello las raíces quebrantan la roca hasta alcanzar los niveles más profundos de aguas subterráneas. Además, las plantaciones acidifican los suelos, degradan y limitan el crecimiento del horizonte IA, disminuyendo el contenido de materia orgánica evitando casi por completo el crecimiento de otras especies vegetales que pudieran incrementar la estabilidad del suelo.

El área de estudio durante el período abril a octubre presenta un clima húmedo y frío, concentrando el 70% de las precipitaciones anuales. Durante los últimos años se ha observado una variabilidad interanual y no un gradiente progresivo en las precipitaciones, aunque es posible indentificar una cierta tendecia de incremento en los últimos 3-4 años precedido de un período de bajas desde el 2009-2013 (Figura 12).

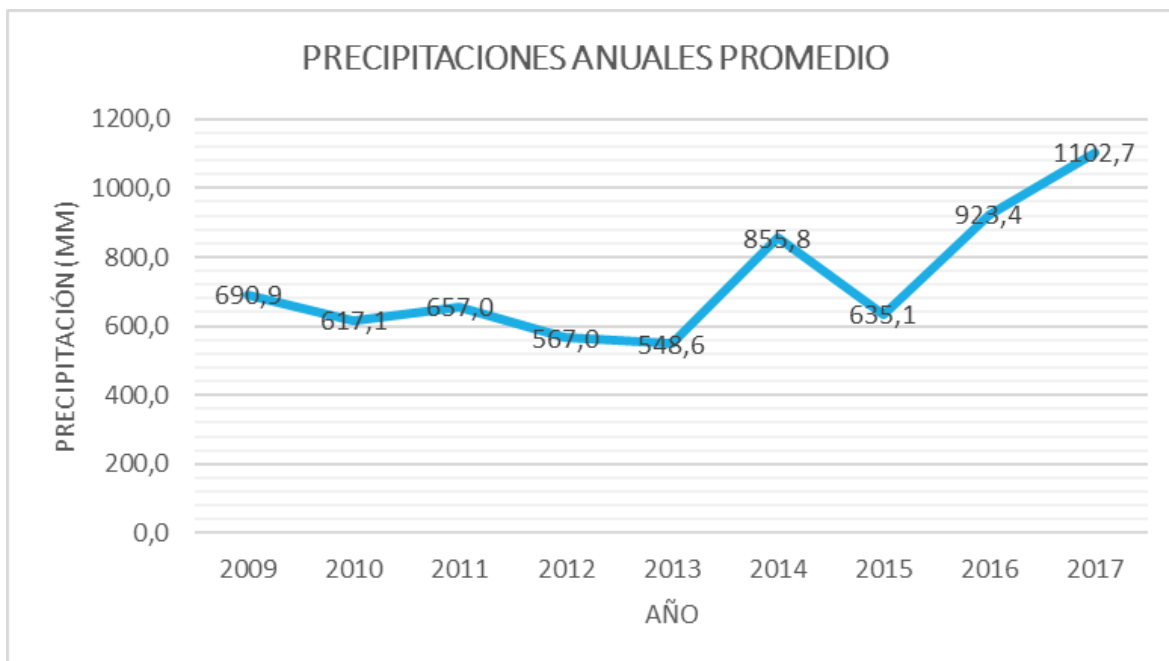


Figura 12: Promedio de datos meteorológicos de precipitación durante los meses de abril a octubre entre los años 2009 y 2017. Se considera estos años ya que la mayoría de los eventos están relacionados con la construcción del camino N-102-M que fue terminado el año 2009. Datos obtenidos de la estación metereológica Concepción a 78km de Cobquecura (Freemeteo, 2017).

4.3. Hidrogeología e Hidrología

Los datos hidrogeológicos del área de estudio son limitados debido a que no hay estudios publicados y solo en base a información verbal de los habitantes de la zona se puede inferir información sobre el nivel freático. En los valles el nivel freático es casi superficial, lo cual se corrobora por inundaciones inmediatamente después de eventos de precipitación intensa durante la temporada de lluvia. En contraste, el nivel de agua subterránea en las colinas alcanza los 30 - 50 m de profundidad (Javier Fierro, julio 2017) debido al fracturamiento de la roca caja que en gran parte corresponde a la UPM o a la UTI.

4.4. Factor Antrópico

El factor antrópico considera la intervención humana tanto en las construcciones de vías y viviendas como en el uso del suelo para plantaciones y agricultura. En el caso de las siembras, éstas no favorecen la generación de procesos de remociones en masa, al contrario de las plantaciones de bosques, que además de acidificar el disminuyen el horizonte IA, facilitando la generación de deslizamientos e incendios forestales (Cannon y Gartner, 2005).

Por otro lado, las construcciones de caminos urbanos han generado debilidad en el talud provocando procesos de remociones en masa que no han podido ser evitados por las obras de mitigación, como gaviones y muros de contención (Figura 13), que han sido localizados solo en sectores donde ya han ocurrido eventos.

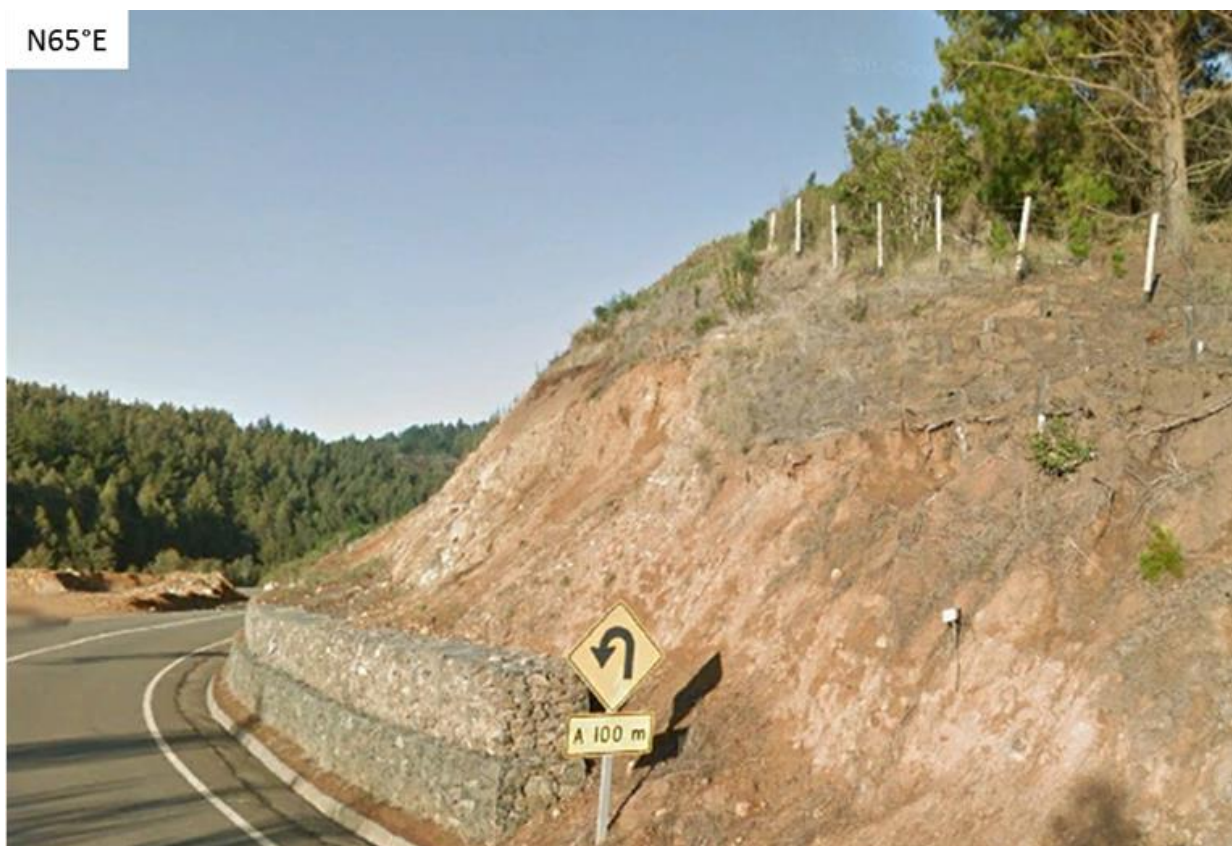


Figura 13: Ruta N-102-M con medidas de mitigación sobrepasadas por material de deslizamientos.

El área con mayor compromiso de procesos de remoción en masa es la ruta N-102-M a la altura de la Punta de “Surf” Buchupureo. La frecuencia de los eventos generados en esta ruta (Figura 14) alcanzan a uno cada 100 m, siendo mayoritariamente deslizamientos rotacionales de suelo y roca.

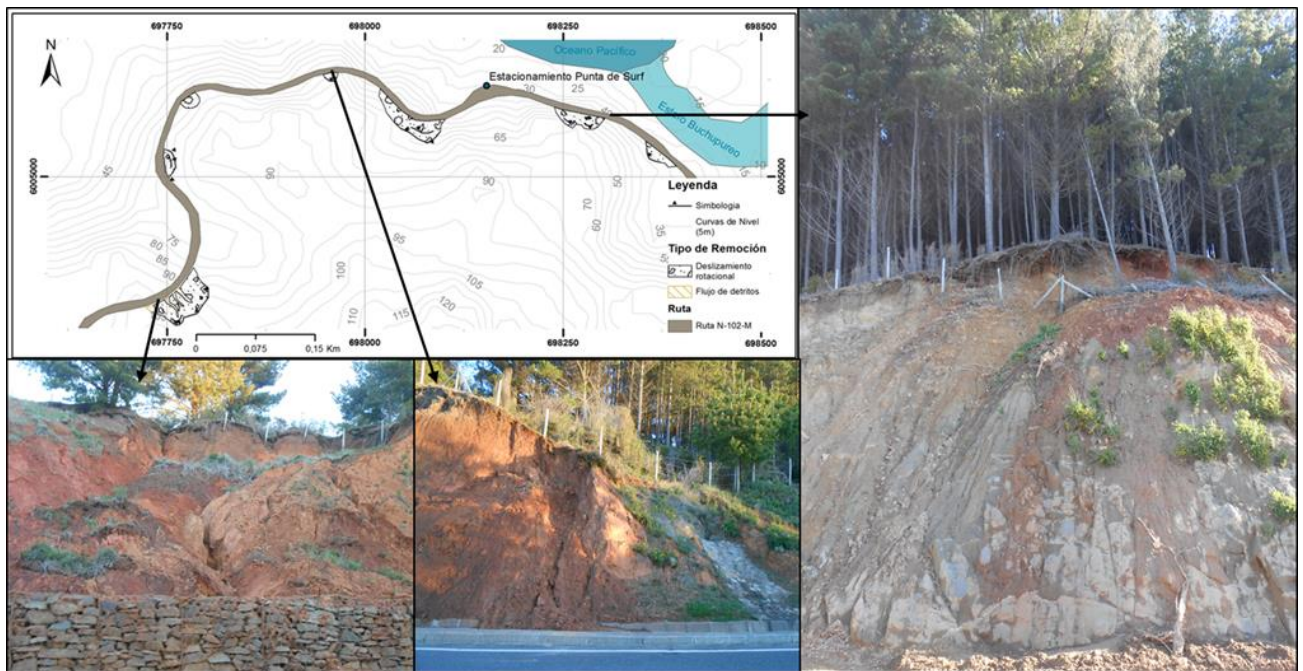


Figura 14: Distribución de procesos de remociones en masa, mayoritariamente deslizamientos rotacionales, afectando la ruta N-102-M a la altura del estacionamiento Punta de “Surf” de Buchupureo.

Estos eventos perjudican las vías públicas y en ciertos casos ponen en riesgo construcciones habitacionales y la remoción de árboles, suelo y cercos (Figura 15).

Cabe destacar, que en las quebradas que cortan las rocas ígneas no existe evidencia visible de eventos de remociones en masa, puesto que existe un equilibrio dinámico natural.



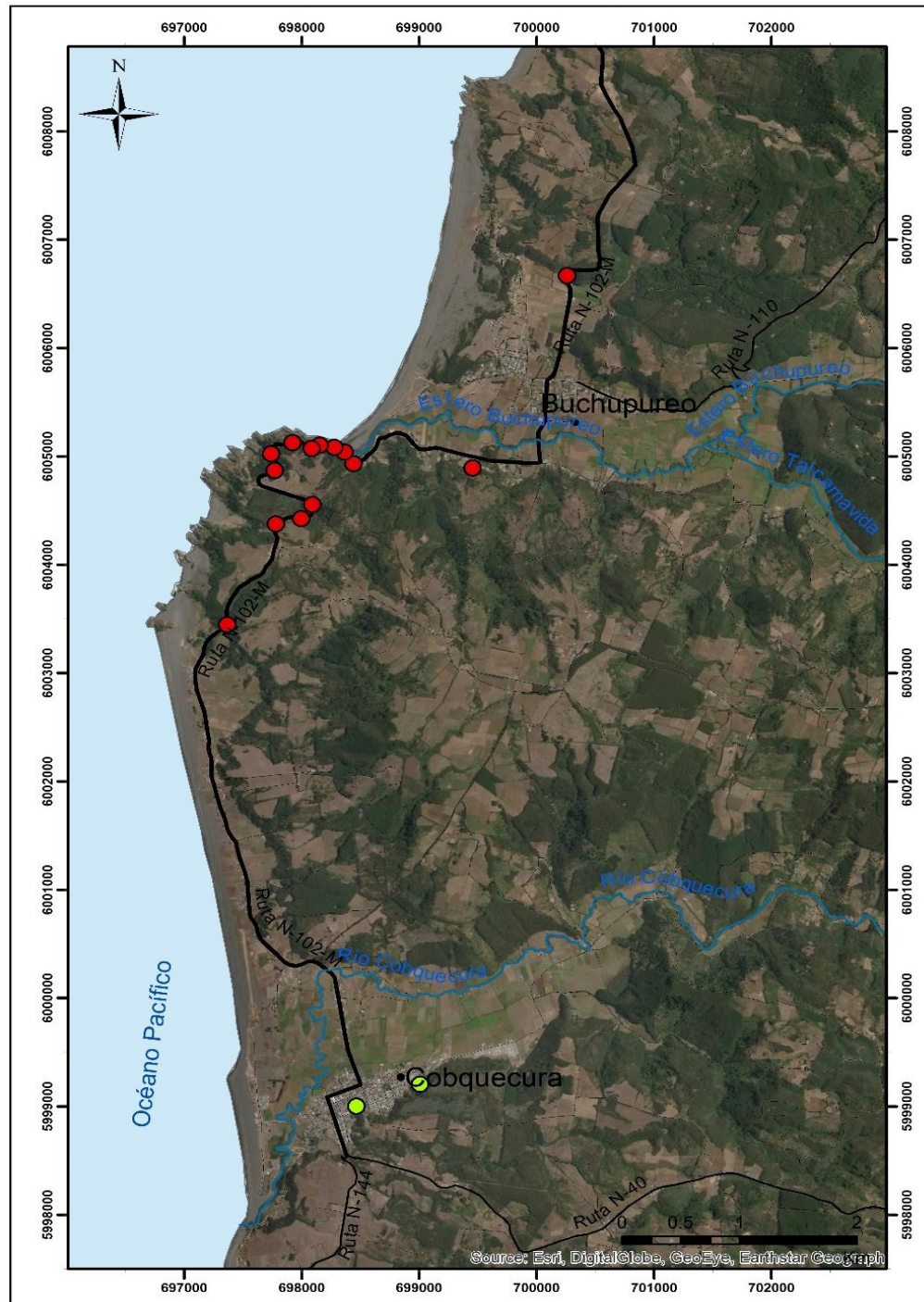
Figura 15: Deslizamiento rotacional de suelo situada al sur de la Punta de “Surf” Buchupureo antes (imagen superior) del evento y posterior (imagen inferior) involucrando árboles de más de 30 m de altura, cercos, y suelo.

4.5. Antecedentes

Las zonas urbanas de Cobquecura y Buchupureo han presenciado un desarrollo rápido durante los últimos 10 años debido al turismo, generando un aumento en construcciones y vías de acceso. La vía de acceso principal, ruta entre Cobquecura y localidades costeras hacia el norte fue finalizada el año 2009 (ruta N-102-M, Figura 16) siendo afectada a partir de entonces por numerosos eventos de procesos de remociones en masa.

Además, las precipitaciones anuales concentradas en algunos meses, junto con una humedad atmosférica significativa por influencia del mar, hacen que estos procesos sean reactivados cada año durante la temporada de abril a octubre, provocando daño e interrumpiendo el uso de esta vía pública.

Los principales procesos que afectan la ruta corresponden a deslizamientos rotacionales que provocan la obstrucción de las vías con material de suelo, rocas y vegetación. La ocurrencia de los eventos comienza a la altura de la Iglesia de Piedra y prosiguen hacia el norte a lo largo de la ruta hasta descender al valle de Buchupureo. En las zonas de mayor cota, donde afloran la Unidad Sedimentaria de Terrazas de Abrasión Marina (T2), no se observan procesos de remociones en masa. A medida que disminuye la cota, y afloran las unidades Triásicas y Paleozoicas, se observan deslizamientos rotacionales. El impacto, alcance y volumen de material removido es notablemente mayor en las rocas intrusivas que en las rocas metamórficas. Para las rocas intrusivas, los deslizamientos rotacionales generan un promedio de 3000 m³ de material desplazado afectando un área promedio de 243 m² por evento. Estos eventos, a su vez, están sobreimpuestos por flujos de detritos y suelo, los cuales generan cárcavas sobre los depósitos.



Legenda

- Localidades
- Caída de Rocas
- Rios
- Deslizamiento Rotacional

Figura 16: Mapa del área de estudio, con puntos de eventos de remociones en masa activos. Estos se mayor concentran en la ruta N-102-M por el acceso sur de Buchupureo.

La rehabilitación de la ruta exige períodos de varios días de trabajo para remover el material depositado, paralizando el tránsito vehicular, lo que podría ser más grave en casos de emergencia o catástrofes naturales. Por otro lado, para prevenir las consecuencias de eventos de remociones en masa se aplican medidas de mitigación menores, como gaviones y muros de contención, que no han logrado contener ni disminuir la ocurrencia de estos eventos.

Por otra parte, también se observan eventos de remociones en masa del tipo caída de rocas. La ocurrencia de estos eventos se limita a la ladera sur del valle de Cobquecura, afectando únicamente a la UPM. Estos eventos serán descritos mas adelante.

En el caso de caídas de rocas, existe antecedentes en la ladera sur del valle de Cobquecura en varios sectores, principalmente adyacente a la localidad de Cobquecura (Figura 17). Los eventos más recientes, ocurrieron detrás de la Escuela Rural Suecia y adyacente al Cerro Calvario en el año 2015; éstos no fueron asociados a ningún evento sísmico, y ocurrieron durante el mes de mayo, con un registro de bajas precipitaciones comparado con otros años. Durante el mega sismo (8.8 Mw) del 27 de febrero del año 2010 (27F) se registró un evento de caída de rocas por la ladera sur del valle de Cobquecura adyacente al centro de Cobquecura (comunicación verbal, 2017) con alcances menores, sin generar daños a infraestructuras. Eventos más antiguos de caídas de rocas se relacionan con el terremoto de Chillán en enero del año 1939 (Lockridge, 1985) donde se desprendían rocas de la ladera sur del valle de Cobquecura, a la altura de El Molino, ubicado a 2 km de la costa.

Los procesos de remociones en masa observados por habitantes de la zona a través de varias generaciones indican un lugar con baja incidencia de procesos geológicos. En efecto, no hay antecedentes de eventos de remociones en masa de mayor importancia anteriores a la construcción de carreteras pavimentadas con modificación de laderas.

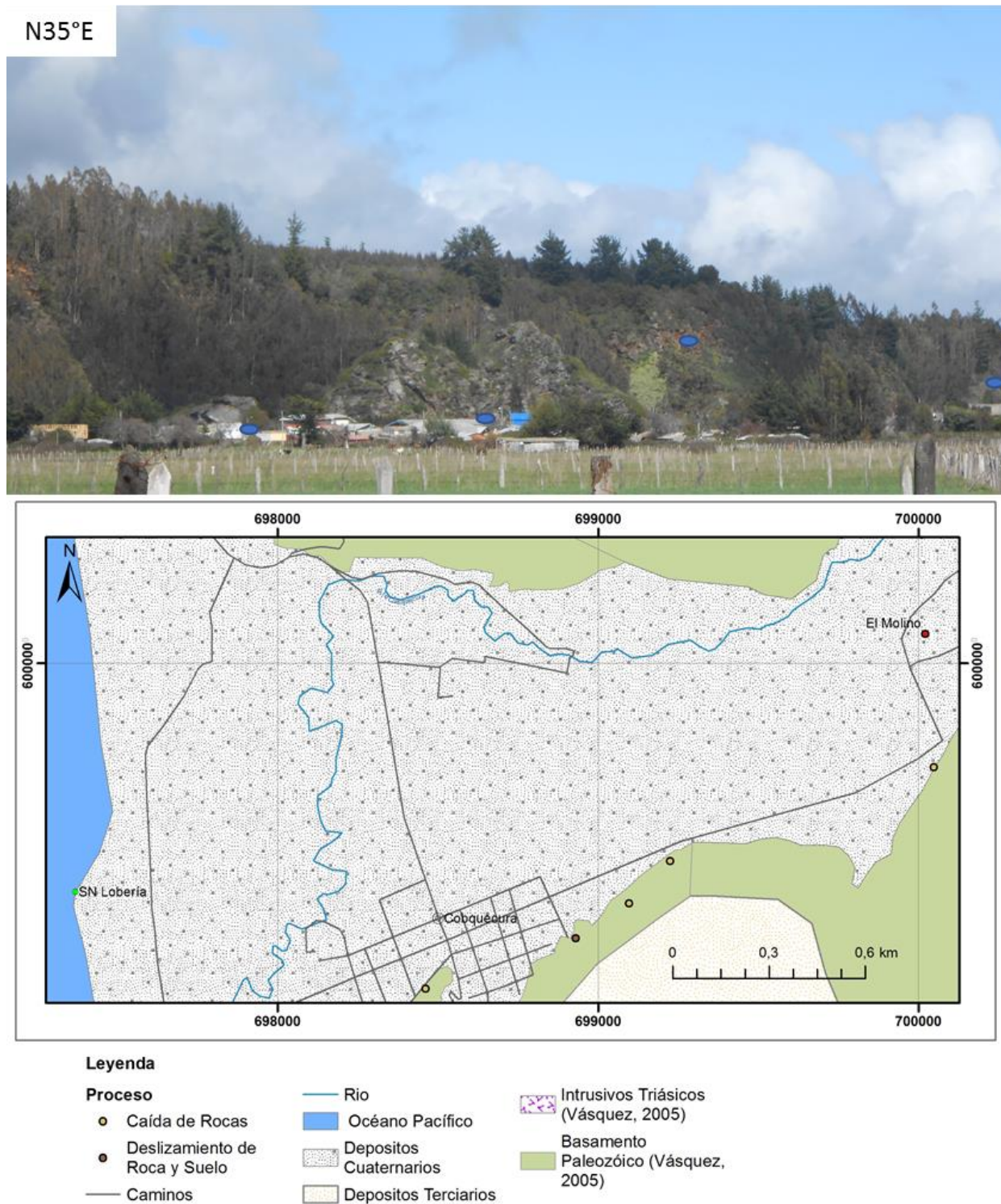


Figura 17: Caídas de rocas y deslizamientos declarados (puntos azules) sobre la Unidad Paleozoica en la ladera sur del Valle de Cobquecura.

4.6. Evaluación de Susceptibilidad

Se logró identificar la predominancia de deslizamientos rotacionales que cuales presentan un mayor impacto sobre unidades UTI y UPM. En menor escala y con menor impacto se identifican caídas de rocas, flujos sobreimpuestos a deslizamientos rotacionales que generan cárcavas, y deslizamientos traslacionales en cuña en sectores muy localizados. Por lo tanto, para la evaluación de susceptibilidad de procesos de remoción en masa con mayor impacto (deslizamientos rotacionales y caídas de rocas), se desarrolla y desglosa las ponderaciones de cada factor condicionante por medio de mapas temáticos para cada proceso.

4.6.1. Deslizamientos Rotacionales de Suelo

Las condiciones y características del terreno varían según la ubicación geográfica, que a su vez inciden directamente sobre los factores condicionantes. Tomando en cuenta que la ubicación geográfica es considerablemente distinta a la Quebrada San Ramón estudiado por Lara (2007) se modifican las ponderaciones (Tabla 4). Se desarrollaron los mapas temáticos que permitieron calcular los índices de susceptibilidad para los deslizamientos rotacionales de roca y suelo del área de estudio (Figura 18).

A continuación, se explica y desglosa las ponderaciones de los factores condicionantes para los procesos de deslizamientos rotacionales compuestos:

Con respecto a la geomorfología, se disminuyó la ponderación aplicada para dar mayor énfasis al factor geología-geotécnica y al factor de antecedentes. A su vez, se agregó la subdivisión de exposición marina, ya que ésta genera mayor erosión y meteorización en las rocas que presentan cercanía y exposición al mar.

Tabla 4: Factores condicionantes y ponderación para deslizamiento rotacionales.

FACTOR		%
GEOMORFOLOGÍA	pendiente de las unidades	32
	exposición al sol	
	exposición al mar	
GEOLOGÍA- GEOTECNIA	características geológicas-geotécnicas del material	30
	condiciones de humedad y saturación	
CLIMA - VEGETACIÓN	cobertura vegetal	12
	tipo de vegetación	
ANTRÓPICO	desestabilización artificial de laderas	10
ANTECEDENTES	deslizamientos declarados en la ladera	16
	deslizamientos declarados en la unidad de suelo	

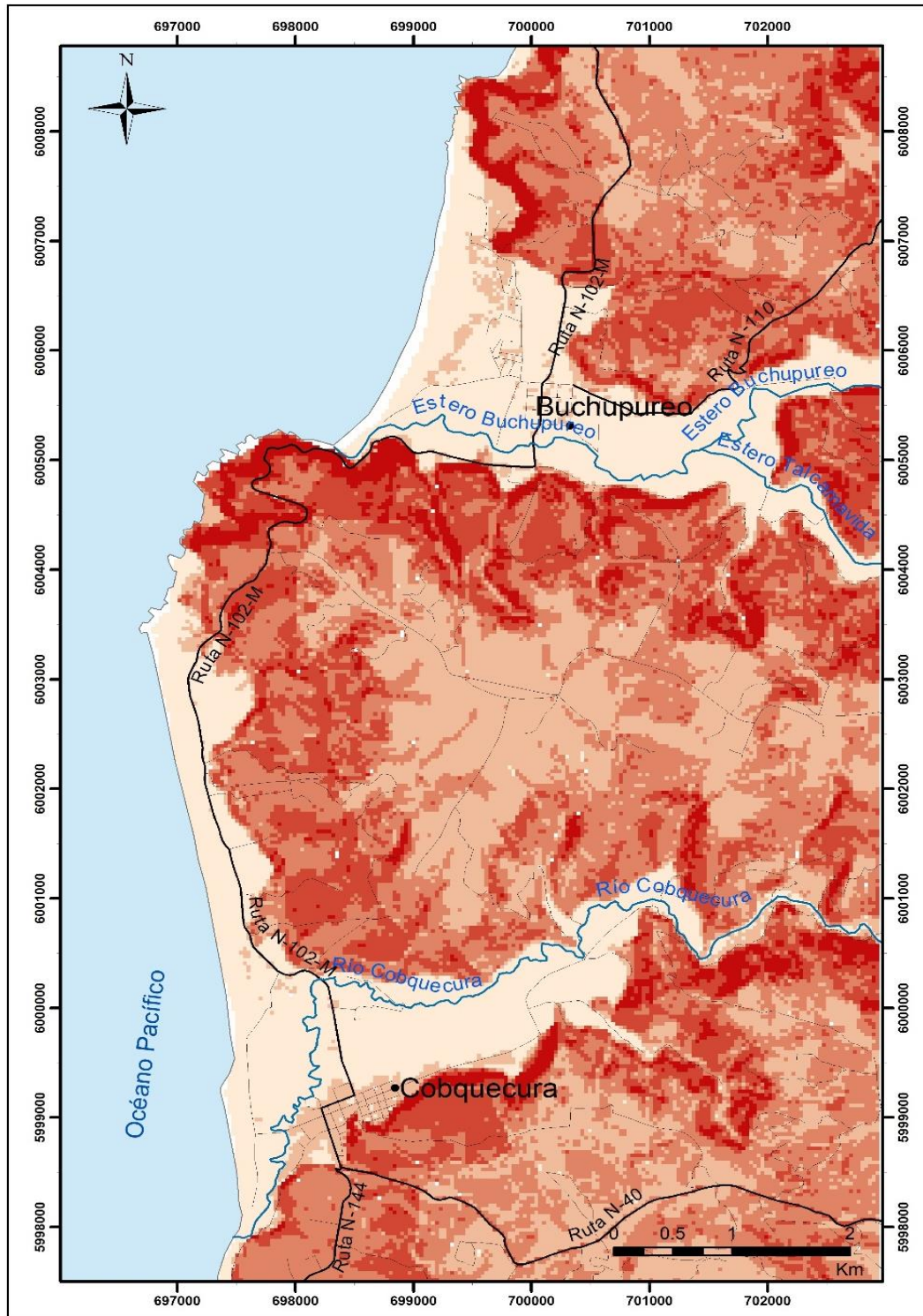
* Las modificaciones de las ponderaciones se desarrollaron dependiendo de la importancia de impacto que presenta cada factor.

La subdivisión de la exposición marina se expresa notoriamente en las propiedades geotécnicas que a su vez varían dependiendo del tipo de roca aflorante. La exposición al poniente provoca una condición de humedad permanente en la ladera, además aumentar meteorización química ante la continua exposición de vientos con alto contenido salino provenientes del mar.

La densidad vegetal de la ladera es directamente proporcional al tipo de vegetación, afectando de una manera inversa a la Quebrada San Ramón. En este caso, la densidad esta directamente relacionada con el tipo de vegetación: una alta densidad vegetal favorece la generación de deslizamientos.

Tabla 5: Desglose de factores condicionantes en deslizamientos de suelo y sus ponderaciones usadas en este trabajo.

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
Pendiente de laderas (f ₁)	Se considera la pendiente promedio de la unidad.	15°-20°	4
		21°-25°	8
		26°-30°	12
		31°-40°	17
		>40°	22
Exposición solar (f ₂)	Para el caso de Chile Central; Alta: exposición de laderas mirando al N con exposición anual. Parcial: laderas mirando hacia el E y W. Baja: laderas mirando hacia el S.	alta	5
		parcial	3
		baja	1
Exposición marina (f ₃)	Para el caso de localidades costeras con exposición a vientos provenientes del mar. Alta: exposición al W. Parcial: laderas mirando hacia el N y S. Baja: laderas mirando hacia el E.	alta	5
		parcial	3
		baja	1
Características geológicas/geotécnicas del material (f ₄)	La generación de material removible a partir de roca se ve favorecido por la alta meteorización y alteración.	muy favorable	20
		favorable	14
		medianamente favorable	10
		poco favorable	6
		muy poco favorable	2
Condiciones de humedad y saturación (f ₅)	Mayor humedad y saturación favorece en la generación de deslizamientos.	muy favorable	10
		favorable	7
		poco favorable	3
		muy poco favorable	1
Densidad vegetal (f ₆)	Una alta densidad vegetal aumenta el peso sobre la corona del talud, favoreciendo la generación de deslizamientos.	alta	5
		media	2
		baja	1
Tipo de vegetación (f ₇)	Se toma en consideración el uso del suelo. Favorable: bosques de monocultivos (pino o eucalipto). Poco favorable: flora nativa y siembras.	favorable	7
		poco favorable	3
Desestabilización artificial de laderas (f ₈)	Por ejemplo, construcciones de terraplenes, caminos, etc.	importante	10
		poco importante	5
		no observado	0
Deslizamientos declarados en la unidad geomorfológica (f ₉)	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente	10
		sin antecedentes	5
		no observado	0
Deslizamientos declarados en la unidad geológica (f ₁₀)	Información escrita y/u observación de escarpes y superficies de deslizamiento.	presente	5
		sin antecedentes	2
		no observado	0
Tipo de material (f ₁₁)	En este caso, el material roca no está en estudio, por lo tanto, pondera por 0 al resto de los factores.	suelo	1
		roca (cobertura ap. <1m-1.5m de suelo)	0



Leyenda

- Localidades
- Ríos
- 2 - 29
- 29 - 39
- 39 - 46
- 46 - 55
- 55 - 78

Figura 18: Mapa de Índice de Susceptibilidad de deslizamientos rotacionales para el área de Buchupureo-Cobquecura.

4.6.2. Caídas de Rocas

Luego de la modificación de las ponderaciones de Lara (2007; Tabla 6) se generan los mapas temáticos que permitieron calcular los índices de Susceptibilidad para las caídas de rocas (Figura 19).

Tabla 6: Factores condicionantes y ponderaciones para caídas de rocas.

FACTOR		%
GEOMORFOLOGÍA	pendientes de laderas	35
GEOLOGÍA - GEOTÉCNIA	características geológicas - geotécnicas del material	35
VEGETACIÓN	cobertura vegetal	10
	tipo de vegetación	
ANTRÓPICOS	desestabilización artificial de laderas	5
ANTECEDENTES	caídas de rocas declaradas en ladera	15

El desglose en detalle de cada factor condicionante y sus ponderaciones se explica a continuación:

La ponderación de los factores de geomorfología y geología/geotécnia se mantienen ya que se considera que ellos tienen la misma importancia que en el área de la Quebrada San Ramón estudiada por Lara (2007). Será mas favorable si la roca presenta estructuras subverticales, y la relación que las estructuras de la roca tienen con respecto a la dirección de la ladera. Además, se toma en cuenta el promedio de pendiente de la ladera, considerando que se requiere una mayor pendiente para generar caídas de rocas.

A diferencia de Lara (2007) en el área de estudio no se presenta el tipo de condición climática de acumulación de nieve, por lo tanto, se suprimió el factor de acumulación de nieve. Con respecto al factor clima, el clima se presume como constante ya que se considera uniforme dentro del área de estudio. Cabe destacar que efecto del

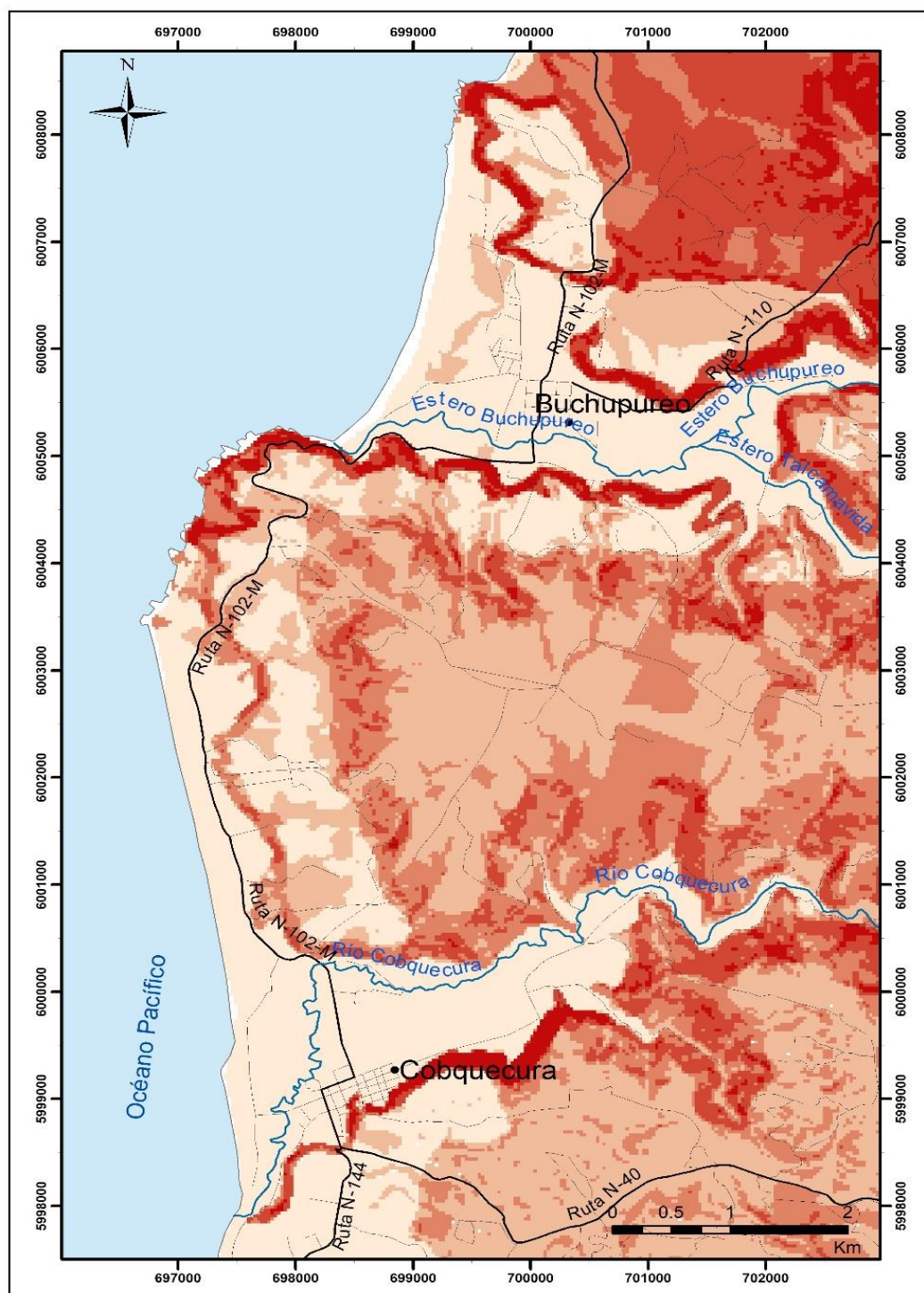
agua genera mayor erosión y desestabilidad en los planos de debilidad como las diaclasas o fallas.

Se incorpora el factor de vegetación que incluye la subdivisión de densidad y tipo de vegetación. La vegetación juega un importante papel en la generación de caída de rocas, ya que ésta genera un sobrepeso y fracturamiento en las rocas, en el caso de la alta densidad vegetal de los bosques de pino o eucalipto.

El factor antrópico se disminuyó ya que no se observa una influencia importante de desestabilización de ladera por la construcción de rutas o infraestructuras. Además, se considera que los antecedentes de caída de rocas indican que es un factor importante ya que la ocurrencia de estos procesos se limita principalmente a eventos declarados previamente por gente local.

Tabla 7: Desglose de factores condicionantes para caída de rocas.

FACTOR	ESPECIFICACIONES	RANGOS	%
Pendientes de laderas (f ₁)	Promedio de la ladera	15°-20°	5
		21°-25°	10
		26°-30°	15
		31°-40°	20
		41°-60°	25
		>60°	30
Características geológicas - geotécnicas del material (f ₂)	Será mas favorable a medida que presente estructuras subverticales en el maciso, alta frecuencia de fracturas y orientación de fracturas en el sentido de la ladera. Se consideran además los factores generadores de deslizamientos de roca	muy favorable	35
		favorable	24
		medianamente favorable	15
		poco favorable	9
		muy poco favorable	3
Cobertura vegetal (f ₃)	Densidad de vegetación sobre el maciso rocoso	alta	7
		media	3
		baja	1
Tipo de vegetación (f ₄)	Favorable: flora nativa. Poco favorable: plantaciones de monocultivo requieren mayor cantidad de agua que generan mayor fracturamiento en la roca para alcanza en nivel freático.	favorable	6
		poco favorable	3
Desestabilización artificial de laderas (f ₅)	Por ejemplo, cortes artificiales en laderas, construcción de terraplenes, etc.	importante	6
		poco importante	3
		no observado	0
Caídas de rocas declaradas en la ladera(f ₆)	Presencia de bloques caídos	presente	15
		no observado	0
Tipo de material (f ₇)	En este caso, el material suelo no está en estudio, por lo tanto, pondera por 0 al resto de los factores.	Suelo	0
		Roca (cobertura aproximada <1m-1,5m de suelo)	1



Legenda

- Localidades
- Ríos
- 0 - 16
- 16 - 28
- 28 - 38
- 38 - 49
- 49 - 85

Figura 19: Mapa Índice de Susceptibilidad de caída de rocas para el área de Buchupureo-Cobquecura.

4.6.3. Análisis Comparativo

El alcance de procesos de remociones en masa mencionados anteriormente es entre 10 y 30m de distancia longitudinal.

A diferencia de la caída de rocas, los deslizamientos rotacionales que provocan daños mayores a la vías públicas e infraestructuras y requieren de constante monitoreo ya que las medidas de mitigación no logran contener el material desplazado.

En su mayoría, los deslizamientos rotacionales afectan a la UTI y están condicionados principalmente por factores antrópicos y son desencadenados por eventos de precipitaciones intensas.

Las caídas de rocas afectan a la UPM principalmente, y constan de eventos puntuales, presentando como principal factor condicionante la geomorfología (pendientes elevadas).

4.7. Evaluación de Peligrosidad

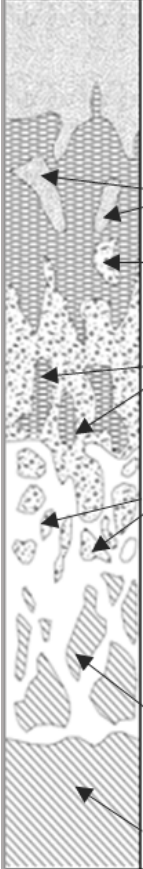
En el caso de obtener un Índice de Susceptibilidad mayor a 50% se procede a generar modelos (descritos a continuación, utilizando programas de Slide y Rocfall, Rocscience) para determinar la peligrosidad para los procesos de remociones en masa identificados en el área de estudio

4.7.1. Deslizamientos Rotacionales

Para el presente estudio de peligrosidad se considera el espesor homogéneo dentro de una misma unidad geológica. Además, las propiedades geomecánicas de suelo se consideran homogéneas dentro del horizonte de suelo del perfil de meteorización

presentado por Suárez Díaz (1998, Tabla 8). Los datos de espesor, tipo de horizonte y propiedades geomecánicas están expresadas en la Tabla 9.

Tabla 8: Perfil de suelo modificado de Suarez-Díaz (1998). En los sectores donde se observa deslizamientos de suelo utiliza un nivel de suelo orgánico decimetrico.

PERFIL	DETALLES	GRADO/HORIZONTE	COLOR	DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA					DESCRIPCIÓN
				0	25	50	75	100	
		VI (Suelo)/HIB	Rojo ↕ Moteado		% Arcilla		% Limo		Arena y arcilla sin textura de roca, espesor variable de 0-6m. Las capas superficiales pueden contener raíces y materia orgánica.
		V (Tot. meteorizado)/HIC	↕ Amarillo					% Arena	Arenas, arcillas, y gravas. Se observan algunas estructuras herederas de la roca.
		IV (Muy meteorizado)/HIIA	↕ Palido						Material de transición (espesor variable a muy delgado). Predominan las arenas y gravas arcillosas. Aparecen muy claras las discontinuidades y bloques aislados de roca.
		III (Mod. meteorizado)/HIIIB	ZONA DE PERMEABILIDAD ALTA Y CONCENTRACIÓN DE CORRIENTES DE AGUA						Aparece bloques grandes de roca en matriz de arena y grava arcillosa.
		II (Algo Meteorizado)/HIIIB	SUPERFICIE LÍMITE COMUNMENTE PARA DESLIZAMIENTOS						Roca con decoloración o descomposición de las discontinuidades. Se pueden separar los bloques pero son difíciles de romper.
		I (Roca sana)/HI							No aparece decoloración o descomposición de las discontinuidades. Se pueen separar los bloques pero son difíciles de romper.

Se consideró un promedio de pendientes de los cortes taludes adyacentes a la ruta N-102-M y los datos de la Tabla 9 para generar los modelos en el programa de Rocslide.

Tabla 9: Datos de las características geomecánicas (Bañón y Bevia García, 2000) asociadas al perfil de meteorización de la Unidad Triásica, para la generación de los modelos en base al programa computacional Rocslide.

Tipo de Suelo	Peso Específico	Cohesión	Ángulo de Fricción Interna	Horizonte	Espesor
	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(ϕ)		(m)
Grava Arenosa	19	0	35	IIA	15
Arcilla Media	18	7	20	IC	10
Arcilla Limosa	20	20	30	IB	>5

Considerando lo anterior, la Figura 20 representa tres modelos en los cuales se cambió el ángulo del plano de falla para determinar el Probabilidad de Falla (FP) de ocurrencia de un deslizamiento rotacional de suelo.

El primer y último modelo (Figura 20A Y 20C, respectivamente) son casos hipotéticos asumiendo ángulos de falla mayor y menor a la simulación del evento con mayor material removido observado en la ruta N-102-M (Figura 20B).

Para los casos con menor ángulo de falla (Figura 20B y 20C) el FP es menor a 30%, indicando una baja probabilidad de generación de un deslizamiento rotacional. Al aumentar el ángulo de falla (Figura 20A) el FP aumenta a 100%.

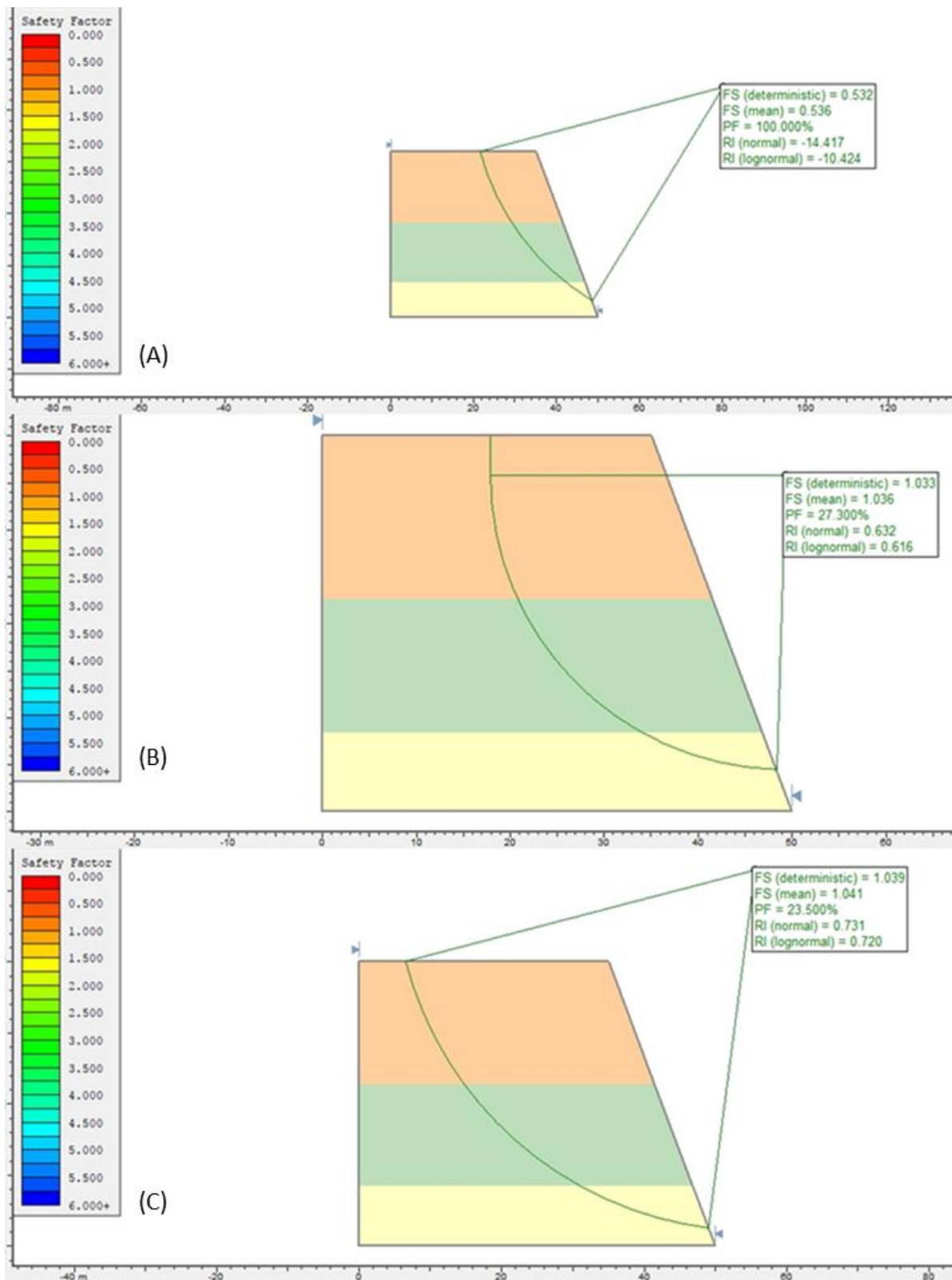


Figura 20: Análisis de factor de probabilidad de ocurrencia de deslizamientos según ángulo de falla rotacional. Slide de Rocscience.

4.7.2. Caída de Rocas

Para determinar la peligrosidad asociada a las caídas de rocas se toman en consideración las características estructurales que presenta la roca. El área afectada principalmente por caídas de rocas corresponde a la ladera sur del valle de Cobquecura con orientación N45°E, afectando a la UPM. Los datos estructurales de esta unidad se obtuvieron principalmente en afloramientos con ocurrencia de eventos de caídas de rocas.

Para generar una falla planar en la roca es necesario que el rumbo entre los sets de diaclasas de la roca y el rumbo del afloramiento no varíen mas de 20°, y se debe cumplir que alguno de estos sets tenga un manteo menor a la pendiente del talud. Para esto se utilizó el programa de Dips (Figura 21) para identificar los sets de diaclasas principales y determinar si cumplen con las condiciones para generar caídas de rocas.

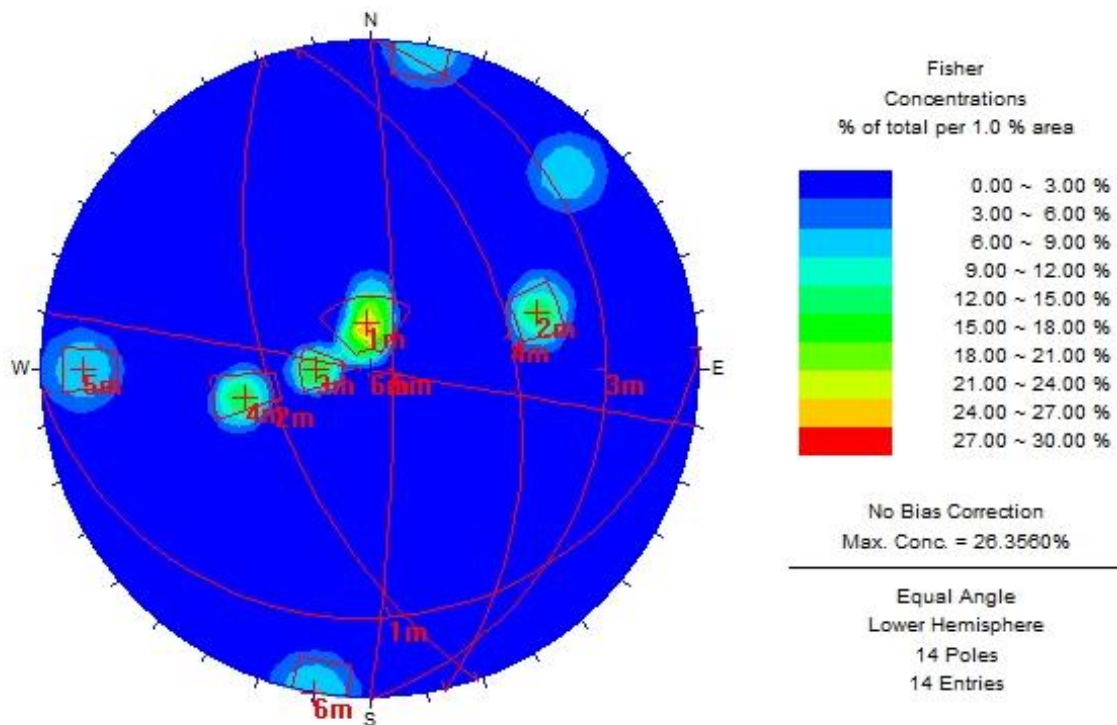


Figura 21: Ploteo de datos estructurales de la Unidad Metamórfica Paleozoica (UPM).

Analizando los datos estructurales planteados se establece que no se cumplen los requisitos necesarios, mencionados anteriormente, para determinar la peligrosidad en base al programa de Rocscience (Tabla 10).

Tabla 10: Datos estructurales de rumbo y manteo para el talud y los set de diaclasas para la Unidad Metamórfica Paleozoica (UPM) en el área de Cobquecura.

	Talud	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Set 6	Set 7
Rumbo	N45°E	N83°E	N58°W	NS	N12°W	NS	N80°W	N41°W
Manteo	80°NW	16°SE	57°SW	19°E	44°NE	82°E	90°NE	80°SW

5. DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo incluyen generar una compilación y análisis de información geológica que cubre registros geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, vegetal y de actividad antrópica. Ello permite una evaluación de los procesos geológicos que afectan un área en función de la susceptibilidad de remociones en masa. En efecto, durante el curso de dos campañas de terreno se logró generar mapas temáticos representativos de los factores condicionantes y se logró desarrollar tablas que desglosan la ponderación que tiene cada factor condicionante específico para la zona litoral costera de Chile Centro-Sur.

La primera campaña de terreno consistió en la identificación geológica y geomorfológica general del área de estudio, lo cual fue dificultada por la condición climática húmeda que implica una densidad vegetal alta, y limitados afloramientos visibles. Se tomó en consideración la relación de los diferentes factores que influyen en la generación del relieve y la importancia de estos sobre los procesos de remoción en masa identificados. La segunda campaña de terreno consistió en la medición detallada de las estructuras y morfología asociadas a los diferentes procesos de remoción en masa. Esta información se debería complementar con futuras mediciones directas de propiedades geotécnicas de los suelos residuales.

Dentro de los procesos de remociones en masa identificados, destacaron los deslizamientos rotacionales y las caídas de rocas, asumiendo como factor crucial para su generación de éstos la modificación de las características morfológicas resultantes de la construcción de caminos y los monocultivos. Ambos han sido señalados anteriormente o muy frecuentemente en otras regiones y especialmente en los desplazamientos invernales.

La geología del área de estudio consiste en 7 unidades: Basamento Paleozoico, Intrusivos Triásicos (Plutón Cobquecura), Unidad Sedimentaria T2, Unidad Sedimentaria T1, depósitos coluviales, depósitos fluviales, y depósitos de inundación. Las dos primeras unidades han sido descritas por diferentes autores (Vásquez 2005, 2008, 2009; Willner y otros, 2005; Glodny y otros., 2006, 2008) y presentan grados de meteorización elevados en las zonas con alturas mayores a 40 m s.n.m., donde ocurren los eventos de remoción en masa como los observados en el área de estudio. Las propiedades geomecánicas de las rocas varían notablemente según la exposición al norte y hacia el mar que tienen las unidades geológicas, en especial la UTI, que presenta alto grado de meteorización cuando está expuesta de frente hacia el oeste con influencia directa del mar en una distancia menor a 500 m. La exposición hacia el norte de la UPM coincide con ser perpendicular a la dirección de buzamiento predominante de la foliación de estas rocas, que corresponde a las laderas donde ocurren las caídas de rocas.

Los niveles de suelo meteorizados de las unidades UPM y UTI generan conflicto al determinar las propiedades geomecánicas. La determinación de la ponderación geotécnica para el índice de susceptibilidad de estas unidades se basó netamente en la observación de terreno de la humedad y saturación de acuerdo al material descrito formando parte de los perfiles de meteorización ya que en este estudio no se generaron estudios geomecánicos en laboratorio del material, y estos no se comportan como roca fresca. De esta misma manera, para el cálculo de la peligrosidad se utilizaron componentes estándares para determinar la cohesión, peso específico y phi, en base a las descripciones litológicas correspondientes a cada nivel del perfil de meteorización. Para futuros estudios es recomendable determinar las propiedades geomecánica de los suelos y mejorar con la precisión de los resultados.

Las unidades sedimentarias T1 y T2 se lograron identificar con pequeños afloramientos puntuales y la observación geomorfológica donde se identificaron los dos niveles de superficies subhorizontales generadas por la acción de oleaje y los acantilados cortados por estos, mostrando una morfología escalonada

característicos de terrazas de abrasión marina. Jara-Muñoz (2005) mencionan que este nivel T2 de terraza de abrasión marina se podría relacionar con terrazas generadas previo a los 135 ma., pero será necesario hacer un estudio enfocado netamente a la identificación completa de la secuencia sedimentaria, su firma mineralógica, edades y patrones de elevación para una mejor correlación e identificación de esta unidad.

Los lineamientos observados reflejan la existencia de posibles fallas de escala communal/regional que pueden ser responsable de la formación característica de las olas que atrae a un elevado número de turistas al área de estudio. Además, la existencia de fallas es de gran importancia, ya que éstas pueden desencadenar procesos de remociones en masa no observados en terreno. Se requiere un estudio detallado de la geología estructural para determinar la actividad y presencia de fallas para así entender mejor su dinámica y comportamiento.

Dada la geomorfología del lugar, que consiste en terrazas subhorizontales adyacentes a antiguos acantilados costeros escondidos disimulados por depósitos coluviales de ladera, las pendientes promedio de las laderas son elevadas entre 35°-45°. Se presentan eventos de caídas de rocas y deslizamiento de suelo y roca en la ladera sur del valle de Cobquecura las pendientes alcanzan ángulos de hasta 70°, dejando en evidencia afloramientos de la UPM.

Por otro lado, se pueden observar pendientes que varían entre 45°-70° en tramos de la ruta N-102-M, que han sido modificadas para la construcción de esta misma ruta, que dan lugar a la mayor concentración de deslizamientos rotacionales en el área. Tomando en cuenta los medios-altos grados de pendiente, las laderas no se ven perturbados por procesos de remociones en masa y se logra observar que existe un equilibrio dinámico entre la alta densidad vegetal y las pendientes. Por lo tanto, la intervención antrópica por medio de la desestabilización de laderas en la construcción de caminos (este caso la ruta N-102-M) genera la inestabilidad necesaria para desencadenar los deslizamientos rotacionales.

La vegetación del área ha sido intervenida de tal manera que de los bosques encontrados dentro del área de estudio más de un 90% son plantaciones de monocultivos de pino o eucaliptus. La densidad vegetal de estos monocultivos genera una sobrecarga de peso sobre el suelo y subsuelo; además de la degradación de los suelos, disminuye la variedad biológica vegetal debido a la acidificación generada por estas especies, y por ende, los componentes orgánicos que comprenden normalmente el suelo. Además, el movimiento de suelo periódico genera una degradación en la calidad y estabilidad del mismo.

La simplicidad de sumar los diferentes factores aplicando conocimientos geológicos básicos hace que la metodología de Lara (2007) sea una herramienta accesible para identificar la susceptibilidad asociada para cualquier área; sin embargo, se hace necesario evaluar y modificar las ponderaciones con respecto al clima, geología, geomorfología, hidrología, entre otros, que son propias de cada lugar. En efecto, las ponderaciones iniciales de Lara (2007) se modificaron de acuerdo, en este caso, a lo observado en terreno, dado que las condiciones ambientales y morfológicas son bastante diferentes al área de estudio de Lara (2007), esto hizo variar las ponderaciones de los factores condicionantes en su relevancia e importancia.

El Índice de Susceptibilidad se calculó mediante el programa de ArcGIS 10.3 por medio de la generación de mapas temáticos representativos de cada factor condicionante desglosado. A continuación, se evalúa el desarrollo y alcance de los factores condicionantes para los procesos de remociones en masa de caídas de rocas y deslizamientos de suelo y roca.

La generación de modelos resulta poco eficiente: Al considerar el deslizamiento rotacional con mayor cantidad de masa desplazada (Anexo RMB2), la simulación creada con los modelos arroja un FP menor a 30%. Este valor inferior de FC se puede deber a que no se considera la sobrecarga vegetal. Por otro lado, puede ser

explicado si se considera que los perfiles de meteorización no son homogéneos, ya que estos varían según la distancia de la superficie al nivel freático, la exposición al sol y frentes de mal tiempo (exposición norte de laderas) y la cantidad de suelo o roca aflorante.

En el caso de los modelos aplicados para los procesos de remociones en masa de caída de rocas, es necesario modificar un modelo que represente las características observadas en cada área.

6. CONCLUSIONES

Los factores condicionantes que generan mayor impacto en la evaluación de la susceptibilidad de las remociones en masa son la geología-geotécnica, la desestabilización de las laderas por intervención antrópica, clima y exposición al mar.

Las características geológicas-geotécnicas influyen en los dos procesos predominantes que afectan el área. Para el caso de los deslizamientos rotacionales, las características geológicas y geotécnicas generan la debilidad en la roca por meteorización y alteración propia ante las condiciones ambientales. Los deslizamientos se generan principalmente en la UTI que con exposición al mar presenta un perfil de meteorización profunda, y que han sido intervenido por la construcción de la vía intercomunal ruta N-102-M y por precipitaciones normales durante los inviernos. Los deslizamientos asociados a la Unidad Metamórfica se asocian con material perteneciente al perfil de meteorización superficial, que, debido a la resistencia a meteorización, presentan bajos niveles de suelo, generando eventos de deslizamientos de baja escala e importancia. Las caídas de rocas están asociadas principalmente a la Unidad Metamórfica, cuyos eventos han sido observados y declarados en la ladera sur del valle de Buchupureo, donde la pendiente de la ladera es perpendicular al manto general de la unidad.

Se requiere de un estudio detallado de la geología estructural identificando la presencia y actividad de las fallas para entender su dinámica y comportamiento, ya que puede ser un factor desencadenante importante en el área de estudio.

El factor antrópico es fundamental para el área de estudio asociado al desarrollo de rutas costeras intercomunales, que conectan Cobquecura, Buchupureo, y las comunas litorales del norte de la región del Biobío y Maule. Estas presentan una

alta recurrencia a lo largo de la ruta donde aflora la UTI, que son reactivadas anualmente durante la temporada de lluvia, sobreimpuestas por flujos de detritos de menor tamaño.

Las condiciones climáticas y la exposición al mar favorecen la generación de procesos de remociones en masa que provocan humedad y saturación de los suelos, además de erosión y meteorización constante sobre las unidades de roca. Cabe destacar que la presencia de monocultivos de árboles genera un efecto favorable en la generación de deslizamientos de suelo y roca, y caídas de rocas en el caso de que las laderas hayan sido intervenidas de manera antrópica. La densidad vegetal de estos bosques genera un sobrepeso sobre las laderas aumentando la desestabilidad, para los deslizamientos, y aumenta el agrietamiento para las caídas de rocas.

Se recomienda hacer una campaña de caracterización geomecánicos del suelo de la geometría y disposición de los perfiles de meteorización asociados a las unidades de rocas para poder generar modelos de peligrosidad con datos específicos de la unidad en estudio. Por otro lado, se recomienda realizar un estudio geológico detallado de las terrazas de abrasión marinas presentes en el área de estudio para determinar de qué manera estas terrazas son afectadas por las pendientes y como se comportan las laderas.

Como medidas de mitigación ante los peligros aparentes en el área de estudio se recomienda la estabilización de los taludes por medio de escalonamiento suavizando de esta manera la pendiente y, canalizando las aguas en el coronamiento de la ladera de modo de manejar el efecto de las precipitaciones durante la temporada de lluvia.

La metodología de Lara (2007) presenta las suficientes variables para poder obtener una idea precisa de la susceptibilidad de un área determinada, pero debe ser modificada dependiendo de las condiciones ambientales que afectan a la geología

y geomorfología del área en la cual se aplica. Por lo tanto, se deben hacer un desglose detallado de los factores condicionantes que van a variar notablemente de un lugar a otro. Dicho esto, las ponderaciones aplicadas en este estudio pueden ser adecuados para aplicar la metodología de Lara (2007) y determinar el Índice de Susceptibilidad de los procesos de remociones en masa para lugares con condiciones ambientales similares, ubicadas en zonas litorales con un alto régimen pluviométrico.

Se necesita mejorar los métodos de modelación para los procesos de remociones en masa para poder simular el verdadero alcance de éstos. Así se pueden aplicar métodos de mitigación adecuados que impidan la propagación de los procesos.

REFERENCIAS

- Accuweather. (2017). *Accuweather*. Obtenido de Accuweather: <https://www.accuweather.com/es/cl/cobquecura/52625/weather-forecast/52625>
- Aguirre, L., Hervé, F., & Godoy, E. (1972). Distribution of metamorphic facies in Chile - an outline. *Krystalinikum*, 9, 7-19.
- ASTER, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. (October de 2011). *Alaska Satellite Facility*. Obtenido de Alaska Satellite Facility: <https://www.asf.alaska.edu/>
- Bañon, L., & Bevia García, J. (2000). *Maual de Carreteras* (Vol. Volumen II: construcción y mantenimiento. Caminos II). (C. d. Ortiz e Hijos, Ed.) Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/1787>
- Cabrera, T. (2007). *Características geotécnicas de los suelo residuales del Batolito de la Cordillera de la Costa*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil. Santiago: Universidad de Chile.
- Cannon, S., & Gartner, J. (2005). Wilfire-related debris flown from a hazards perspective. En S. Cannon, & J. Gartner, *Debris-flow Hazards and Related Phenomena* (págs. 363-385). Springer, Berlin, Heidelberg: Springer Paxis Books.
- Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, C., & Ramos, V. (1982). Tectonic and magmatic evolution of the Andes of the northern Argentina and Chile. *Earth Science Reviews*, No. 18, 303-332.
- CONAF, Corponación Nacional Forestal. (2013). *Guía Básica de buenas practicas para plantaciones forestales de pequeños y medianos propietarios*. (C. N. Forestal, Ed.) Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura.
- CONAF, Corporación Nacional Forestal. (2017). *Estadísticas - Resumen Nacional de Ocurrencia (Número) y Daño (Superficie Afectada) de Incendios Forestales 1964 - 2017*. Santiago: Gerencia Protección contra Incendios Forestales.
- Cristoco, N., & Mellado, G. (2012). Informe sobre el potencial turístico del sector sur poniente de la Region del BioBío. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, No 8(2), 133-139.
- CRUBC, Comisión Regional de Uso del Borde Costero. (2015). *Zonificación Costera Comunal Cobquecura: Informe Ambiental Proceso Evaluación Ambiental*

- Estratégico*. Gobierno Regional del BioBío, Departamento de Planificación y Ordenamiento Territorial. Concepción: División de Planificación y Desarrollo Regional.
- Cruden, D. (1991). A simple definition of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 43, 27-29.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide Types and Processes. (T. R. Board, Ed.) *U.S. National Academy of Science, Special Report*, 247, 36-75.
- Davis, G., & Reynolds, S. (1996). *Structural Geology of Rocks and Regions*. New York: John Wiley.
- Deere, D., & Patton, F. (1971). Slope stability in residual soils. *Fourth PanAmerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1, 87-170.
- Díaz-Alarcón, R. (2012). *Cobquecura: Alma forjada en Piedra, la reconstrucción de un Patrimonio Nacional*. Barcelona: Book Print Digital.
- Dirección de Vialidad. (30 de Agosto de 2016). *Vialidad pavimento tramo de la ruta costera que une las regiones del Maule y Biobío*. Obtenido de Ministerio de Obras Públicas: <http://www.vialidad.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=718>
- División Jurídica. (1974). *Decreto de Ley N° 701*. Gobierno de Chile, Ministerio de Agricultura. Santiago: Ministerio de Agricultura.
- División Jurídica. (1992). *Decreto N° 544*. Gobierno de Chile, Ministerio de Educación, Santiago.
- División Jurídica. (2005). *Decreto N°715*. Gobierno de Chile, Ministerio de Educación, Santiago. Recuperado el 7 de Junio de 2005
- DPDU, Departamento de Planificación y Diseño Urbano. (2010). Detalle Diagnóstico de Variables por Localidad Anexo II. En F. d. Arquitectura, *Estudio de Riesgo de Sismos y Maremoto para Comunas Costeras de la Región del Biobío* (págs. 3-25). Concepción: Universidad del Bio-Bio.
- EIRD/ONU, Estrategia Internacional Reducción de Desastres. (2004). *Vivir con el Riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*. Ginebra: Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas.

- Freemeteo*. (07 de 12 de 2017). Obtenido de Historial meteorológico mensual: <https://freemeteo.cl/eltiempo/cobquecura/>
- Glodny, J., Echtler, H., Collao, S., Ardiles, M., Buron, P., & Figueroa, O. (2008). Differential Late Paleozoic active margin evolution in souther-central Chile (37°S-40°S): the Lanalhue Faultzone. *American Earth Science*, 26, 397-411.
- Glodny, J., Echtler, H., Figueroa, O., Franz, G., Grafe, K., Kemnitz, H., . . . at., e. (2006). Long term geological evolution and mass-flow balance of the southcentral Andes. *The Andes: active subduction orogeny*, 401-428.
- Hauser, A. (1993). Remociones en masa en Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería*, 45, 7-29.
- Hauser, A. (1993). Remociones en masa en Chile. *Servicio Nacional de Geologia y Minería Boletin No. 45*, 7-29.
- Hervé, E. M. (1988). Granitoids of the Coast Range of central Chile: geochronology and geologica setting. *Journal of South American Earth Sciences*, 1(2), 185-194.
- Hervé, F., Munizaga, F., Parada, M., Brook, M., Pankhurst, R., Snelling, N., & Drake, R. (1988). Granitoids of the Coast Range of central Chile: geochronology and geologic setting. *Journal of South American Earth Sciences*, 1, 185-194.
- Highland, L., & Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook: A Guide to Understanding Landslides* (Vol. 1325). Reston, Virginia, USA: Geological Survey (USGS).
- Hoek, E., & Bray, J. (1981). *Rock Slopes Engineering*. Institution of Mining and Metallurgy.
- INE, Instituto Nacional de Estadísticas. (2002). *Censo 2002: Resultados* (Vols. Volumen I: Poblacion País-Región). Santiago, Chile.
- INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (1989). *Mapa Agroclimatico de Chile*. (S. V. Rafael Novoa, Ed.) Santiago, Chile: Impresos Offset.
- Jacoby, D. (2001). *Vulnerabilidad del sector urbano de La Reina frente a desbordes de la Quebrada de Ramón*. Universidad de Chile, Ingeniería Civil. Santiago: Universidad de Chile.
- Jara-Muñoz, J; Melnick, D; Brill, D; Strecker, M. (2015). Segmentation of the 2010 Maule Chile earthquake rupture from a joint analysis of uplisted marine terraces and seismic-cycle deformation patterns. *Quaternary Science Review*, 171-190.

- Kato, T. (1985). Pre-Andean orogenesis in the Coast Ranges of central Chile. *Geological Society of America Bulletin* 96(7), 918-924.
- Keefer, D. (1984). Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America*, 95, 406-421.
- Lara, M. (2007). *Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicacion en Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana*. Universidad de Chile, Departamento de Geología. Santiago: Universidad de Chile.
- Lockridge, P. A. (1985). *Tsunamis in Peru-Chile*. (N. O. Administration, & a. National Environmental Satellite, Data, Edits.) Boulder, Colorado, U.S.A.: World Data Center A for Solid Earth Geophysics.
- Maldonado, M. (2012). *Plan de Desarrollo Turístico de la Comuna de Cobquecura*. Cobquecura: Ilustre Municipalidad de Cobquecura.
- Medel, G. P. (2012). Informe sobre el potencial turístico del sector sur-poniente de la Region del BioBío. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo-RIAT*, 8(2), 133-138.
- Millanao, A., Barrientos, M., Gómez, C., Buschmann, A., Dolz, H., & Cabello, F. (2011). Uso inadecuado y excesivo de antibióticos: Salud pública y salmonicultura en Chile. *Revista médica de Chile*, 139, 107-118.
- Mpodozis, C., & Kay, S. (1992). Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin: evidence from Chilean Frontal Cordillera batholiths (28°S to 31°S). *Geological Society of America*, 104, 999-1014.
- Municipalidad de Cobquecura. (2013). *Actualización Plan de Desarrollo Comunal de Cobquecura 2009-2013*. Cobquecura: Municipalidad de Cobquecura.
- Opazo, E. (2014). *Evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa en la Ruta A-16, vía de acceso principal a la ciudad de Iquique (Región de Tarapacá)*. Universidad de Chile, Departamento de Geología. Santiago: Universidad de Chile.
- PLADECO. (2014). *Plan de Desarrollo Comunal Cobquecura*. Cobquecura: Ilustre Municipalidad de Cobquecura.
- PMA, Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007a). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la Evaluación*

- de Amenazas*. (Vol. 4). Buenos Aires: Servicio Nacional de Geología y Minería
Publicación Geológica Multinacional.
- Sepulveda, S. (1998). *Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos: aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana*. Universidad de Chile, Departamento de Geología. Santiago: Memoria para optar a título de Geólogo.
- SHOA, Servicio Hidrológico y Oceanográfico de la Armada. (2010). *Registro de los principales Tsunamis que han afectado a la costa de Chile*. Santiago.
- Soto, D., Jara, F., & Moreno, C. (2001). Escaped salmon in the inner seas, Southern Chile: Facing ecological and social conflict. *Ecological Applications*, 11(6), 1570-1762.
- Suarez Diaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. (I. d. Ltda., Ed.) Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosion y Deslizamientos.
- Tadashi, A. (1995). Riesgos geologicos urbanos. (F. Repetto, & C. Santiago, Edits.) *Aspectos geologicos de proteccion ambiental*, 1, 89-101.
- Tarbuck , E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra - Una Introducción a la Geología Física*. (A. T. científicas, Trad.) Madrid: Pearson Prentice Hall.
- UBB, Universidad del BioBio. (2011). *Estudio de Riesgos de Sismo y Maremotos para Comunas Costeras de la Región del BioBío*. Universidad del BioBio, Convenio Subsecretaría de Desarrollo Regional, Concepción.
- USGS, United States Geological Survey. (2017). *USGS science for a changing the world*.
Obtenido de Earthquake Hazards Program:
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php>
- Varnes, D. (1978). *Slope movement types and processes*. (R. Schuster, & R. Krizek, Edits.) Washington D.C.: Transportation and Road research board, National Academy of Science.
- Vásquez, P. (21 de Octubre de 2013). *Sociedad Geológica de Chile*. Obtenido de Geositios - Plutón Cobquecura: <http://sociedadgeologica.cl/pluton-cobquecura/>
- Vasquez, P. Franz, G. (2008). The Triassic Cobquecura Pluton (Central Chile): an example of a fayalite-bearing A-type intrusive massif at a continental margin. *Tectonophysics* (459), 66-84.

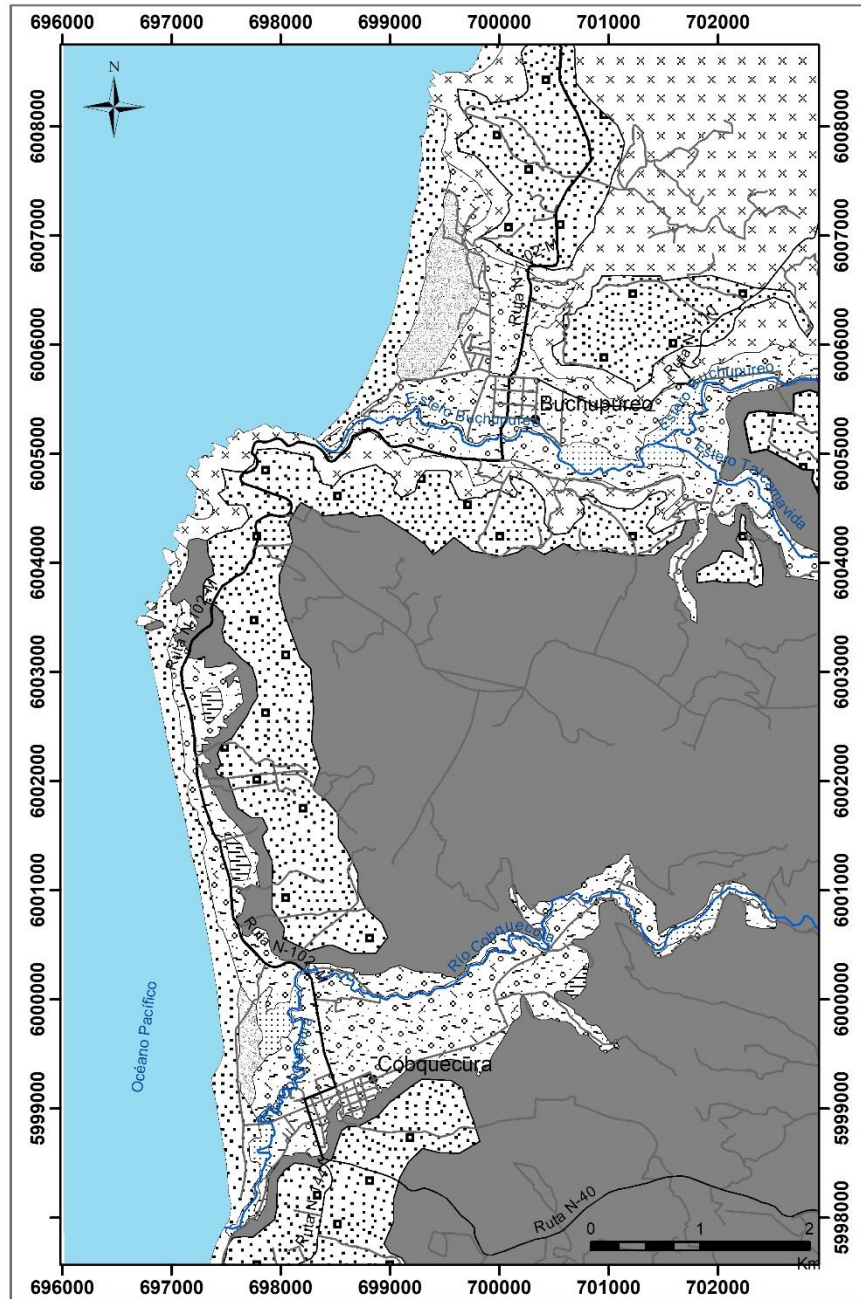
- Vasquez, P., Franz, G., & Wemmer, K. (2005). Fe-rich silicates in the Cobquecura pluton: an indicator of A-type granitoids in the Triassic magmatism of southcentral Chile. *6th International Symposium of Andean Geodynamics*, 773-775.
- Vasquez, P., Glodny, J., Romer, R., & Gerdes, A. (2009). Origin of fayalite granitoids: new insights from the Cobquecura Pluton, Chile, and its metapelitic xenoliths. *Lithos* (110), 181-198.
- Vasquez, P.; Franz, G.; Wemmer, K. (2005). Fe-rich silicates in the Cobquecura pluton: an indicator of A-type granitoids in the Triassic magmatism of southcentral Chile. *6th International Symposium of Andean Geodynamics*, 773-775.
- Wieczorek, G. (1996). Landslide Triggering Mechanisms in Landslides - Investigations and Mitigation. En A. K. Turner, & R. L. Schuster (Edits.). Washington D.C., USA: Transportation Research Board. National Research Council, National Academic Press.
- Willner, A. T. (2005). Time markers for the evolution and exhumation history of a Late Palaeozoic paired metamorphic belt in North-Central Chile (34-35° 30 S). *Journal of Petrology* 46(9), 1835-1858.

ANEXOS

1. Mapas Temáticos	i
1.1. Mapa Geológico	i
1.2. Mapa de Pendientes.....	ii
1.3. Deslizamientos Declarados	iii
1.3.1. En Unidades Geológicas.....	iii
1.3.2. En Unidades Geomorfológicas.....	iv
1.4. Vegetación.....	v
1.4.1. Densidad Vegetal	v
1.4.2. Tipo de Vegetación	vi
1.5. Eventos activos de remociones en masa	vii
1.5.1. Ruta N-102-M.....	vii
1.6. Exposición Marina	viii
1.7. Exposición Solar.....	ix
1.8. Grado de Meteorización	x
1.9. Humedad y Saturación	xi
1.10. Intervención Antrópica.....	xii
2. Inventario remociones en masa.....	xiii
3. Datos Estructurales	xix
3.1. Rosetas Dips	xxii
3.1.1. Sistema de diaclasas para Unidad Intrusiva Triásica.	xxii
3.1.2. Sistema de diaclasas para Unidad Metamórfica Paleozóica.....	xxii
4. Datos Meteorológicos	xxiii
4.1. Datos anuales promedios entre los años 2009-2017	xxiii
4.2. Gráficos	xxiii
4.2.1. Precipitaciones anuales promedio	xxiii
4.2.2. Presiones atmosféricas anuales promedio.....	xxiii
4.2.3. Temperaturas anuales promedio, máximo y mínimo	xxiv

1. Mapas Temáticos

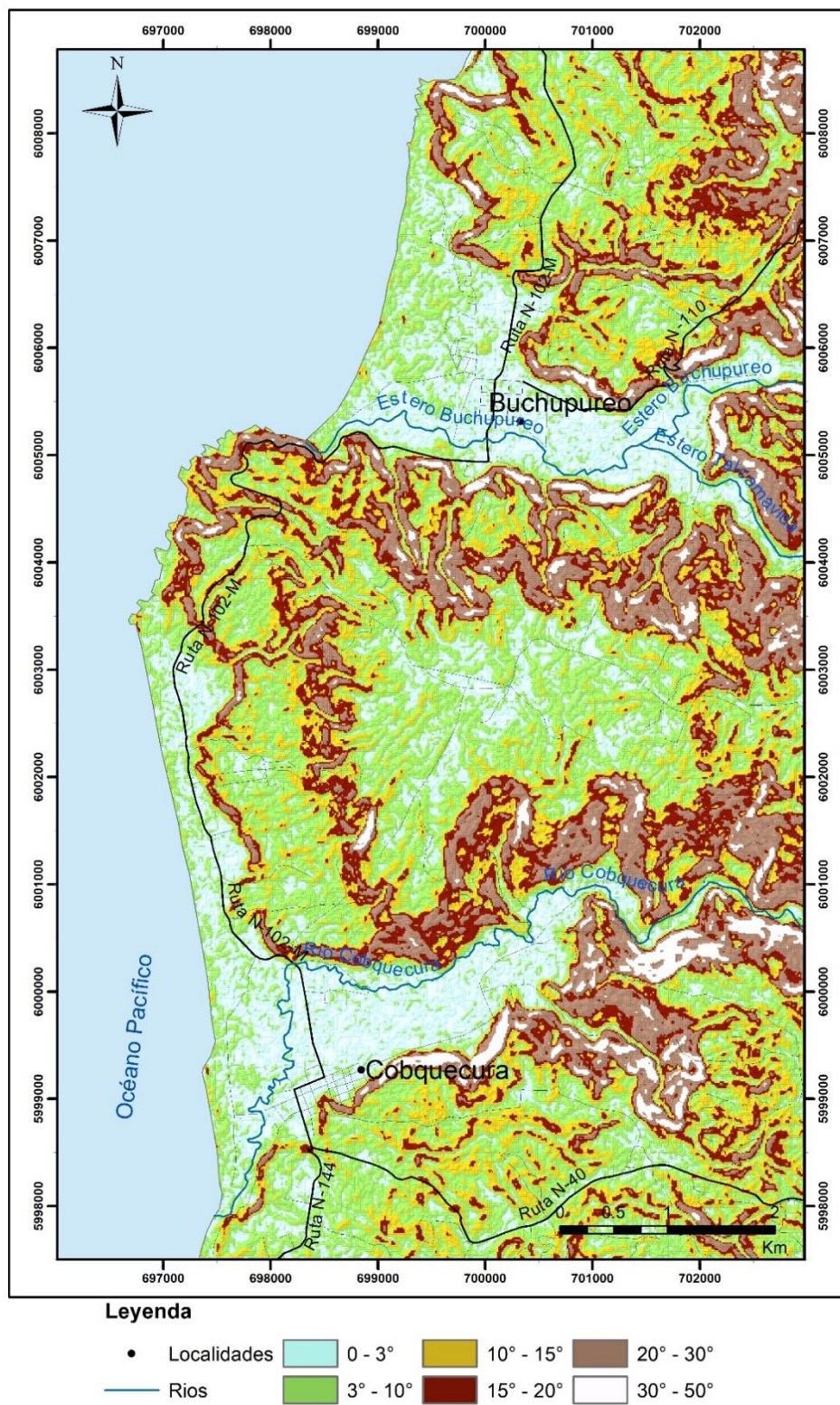
Mapa Geológico



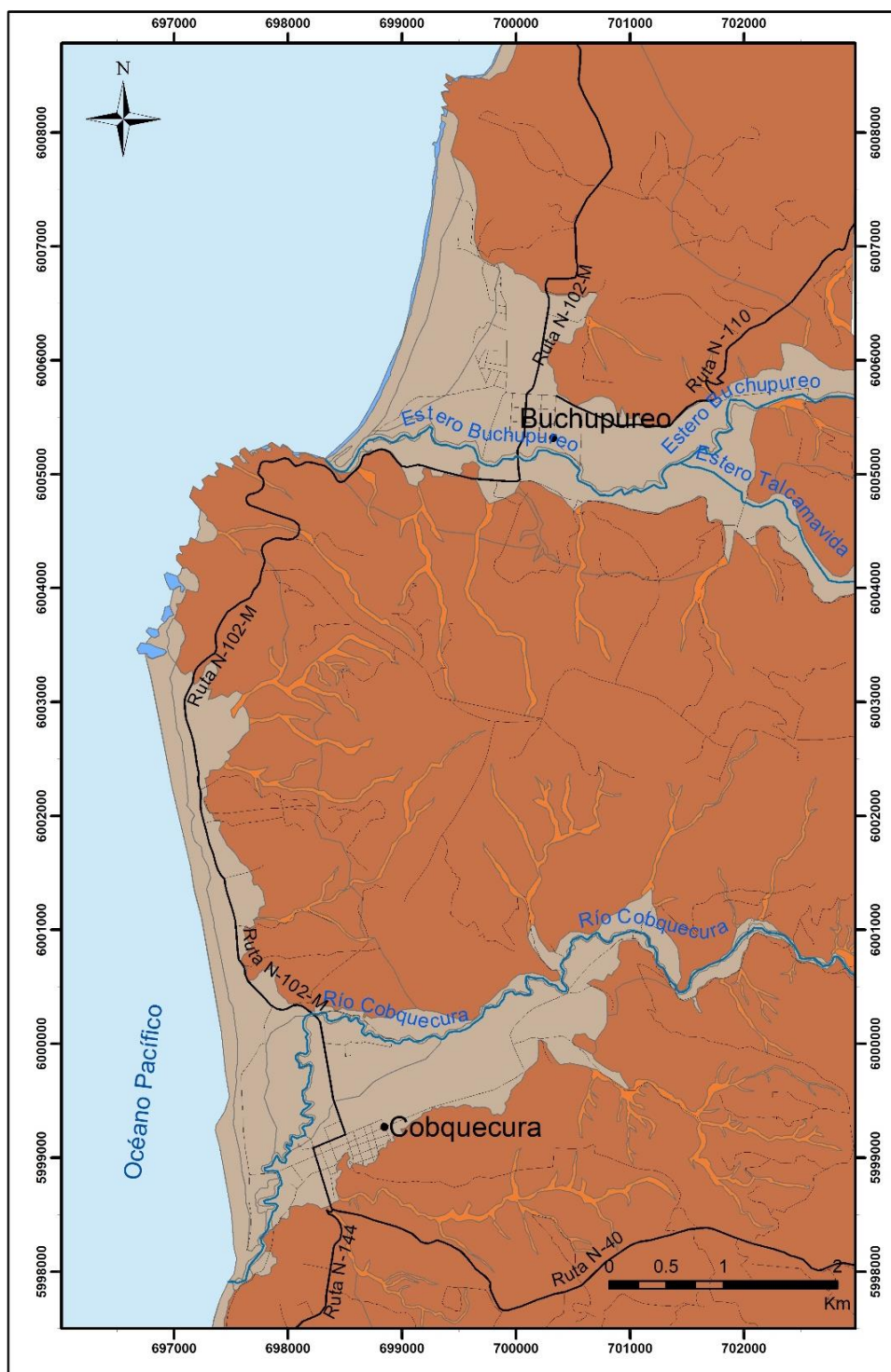
Leyenda

Depósitos Litorales Actuales	Depósitos Eólicos Subactuales	Unidad Triásica Intrusiva
Depósitos Fluviales Actuales	Unidad Sedimentaria T1	Unidad Paleozoica Metamórfica
Depósitos de Inundación Actuales	Unidad Sedimentaria T2	

Mapa de Pendientes



1.1.2. En Unidades Geomorfológicas

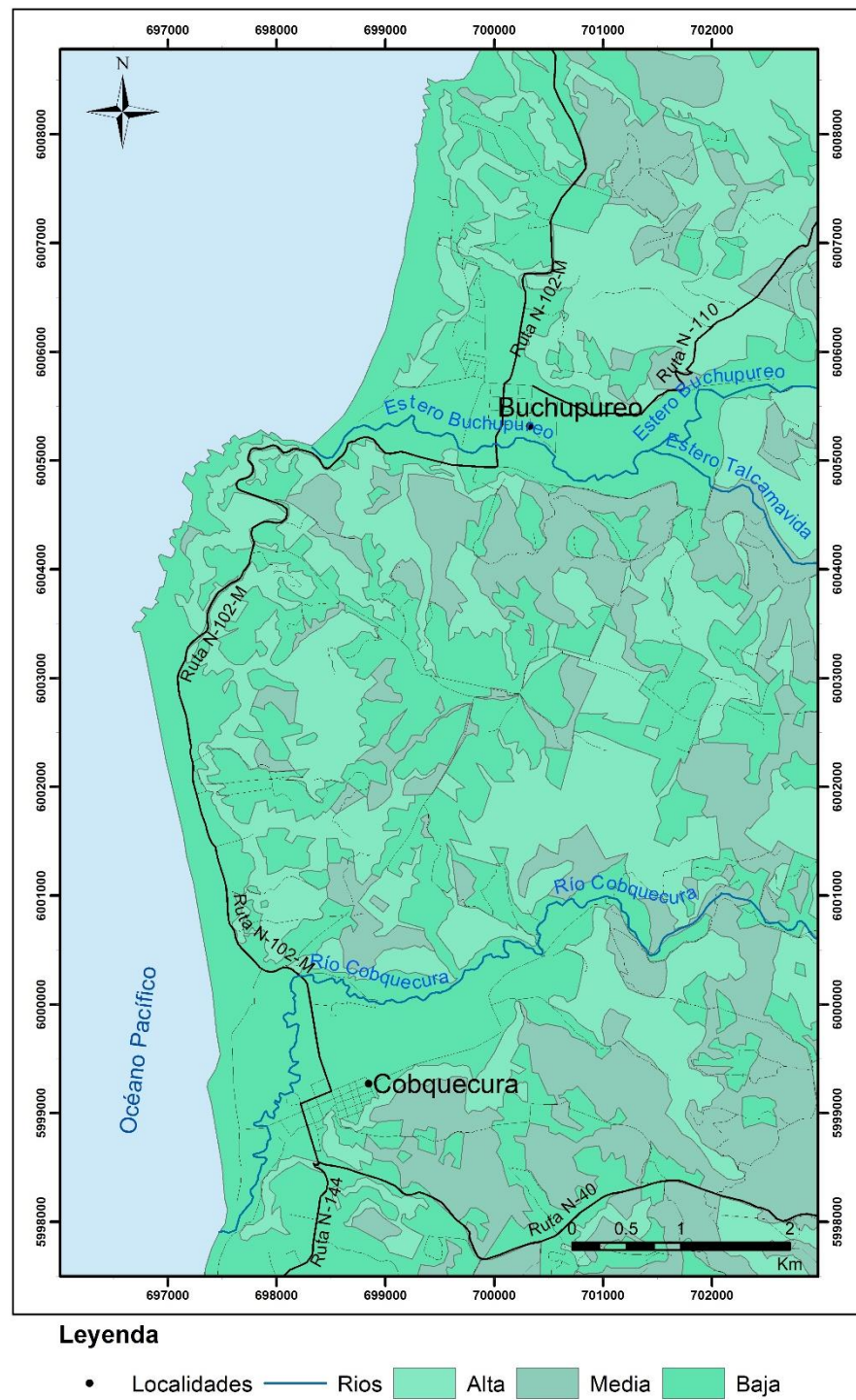


Leyenda

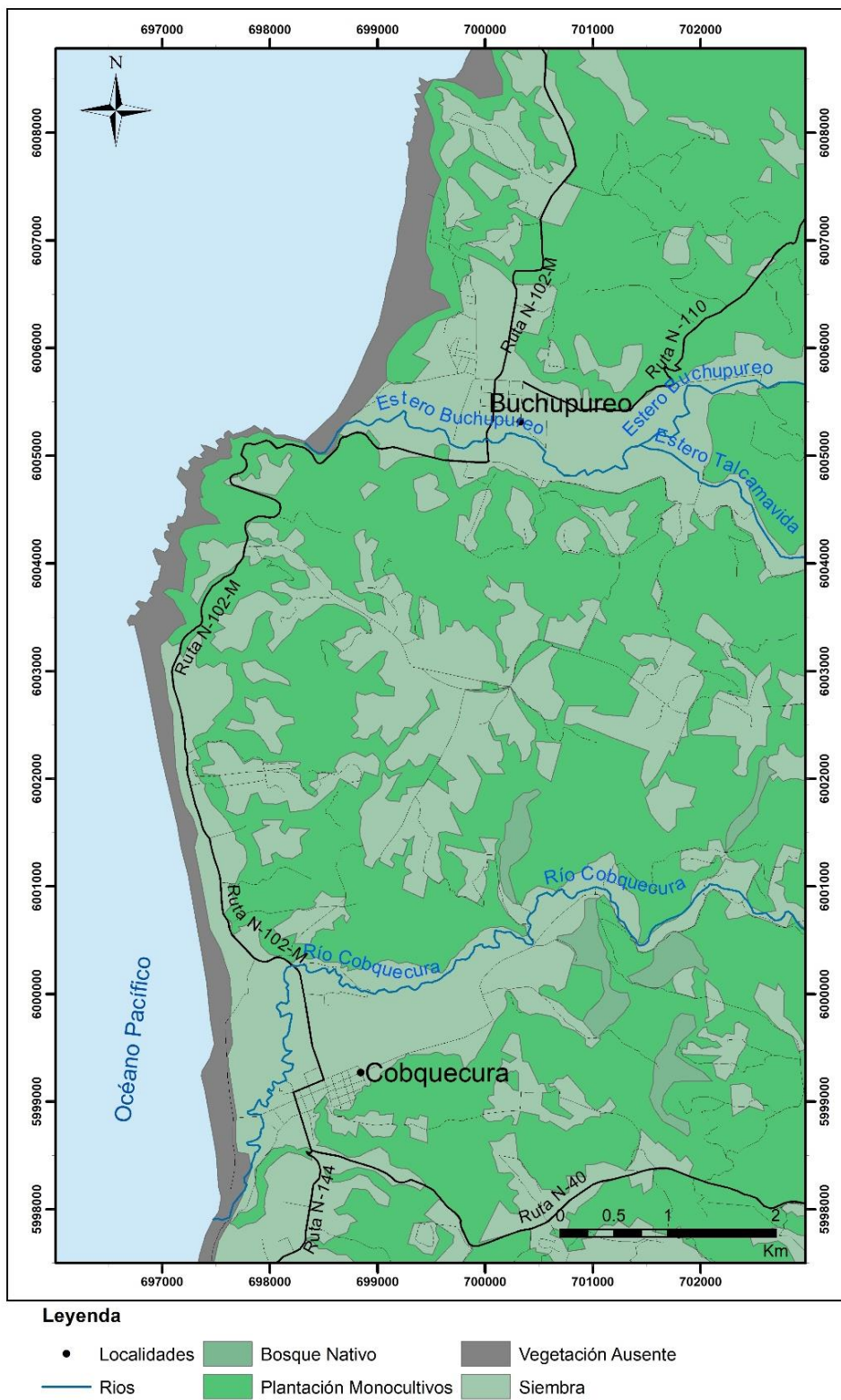
- Localidades
- Rios
- No Aplica
- No Observado
- Presente
- Sin Antecedentes

Vegetación

1.1.3. Densidad Vegetal



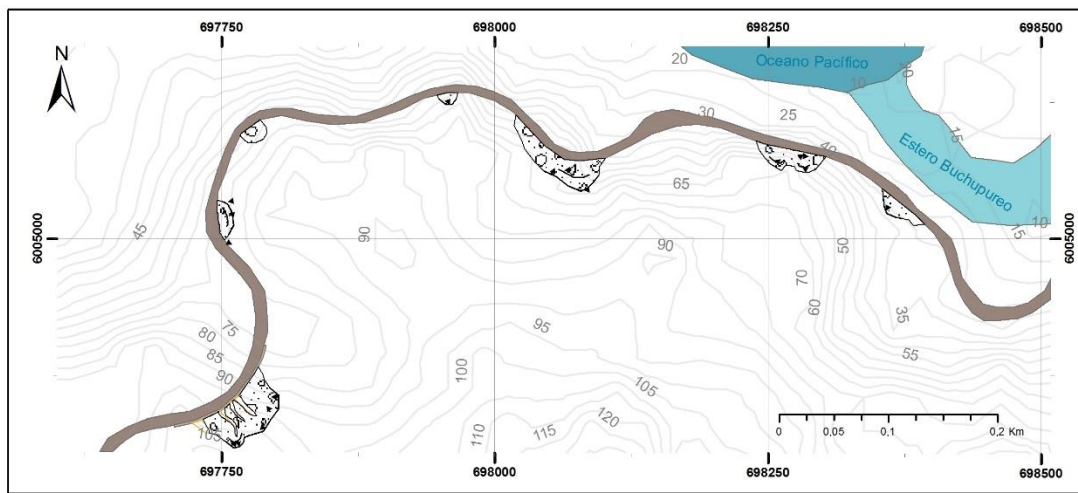
1.1.4. Tipo de Vegetación



Eventos activos de remociones en masa

1.1.5. Ruta N-102-M

Mapa Remociones en Masa
Ruta N-102-M Punta de Surf Buchupureo



Legenda

—> Simbología
— Curvas de Nivel
(5m)

Cuerpos de Agua

Cuerpos_de
Estero Buchupureo
Oceano Pacifico

Tipo de Remoción

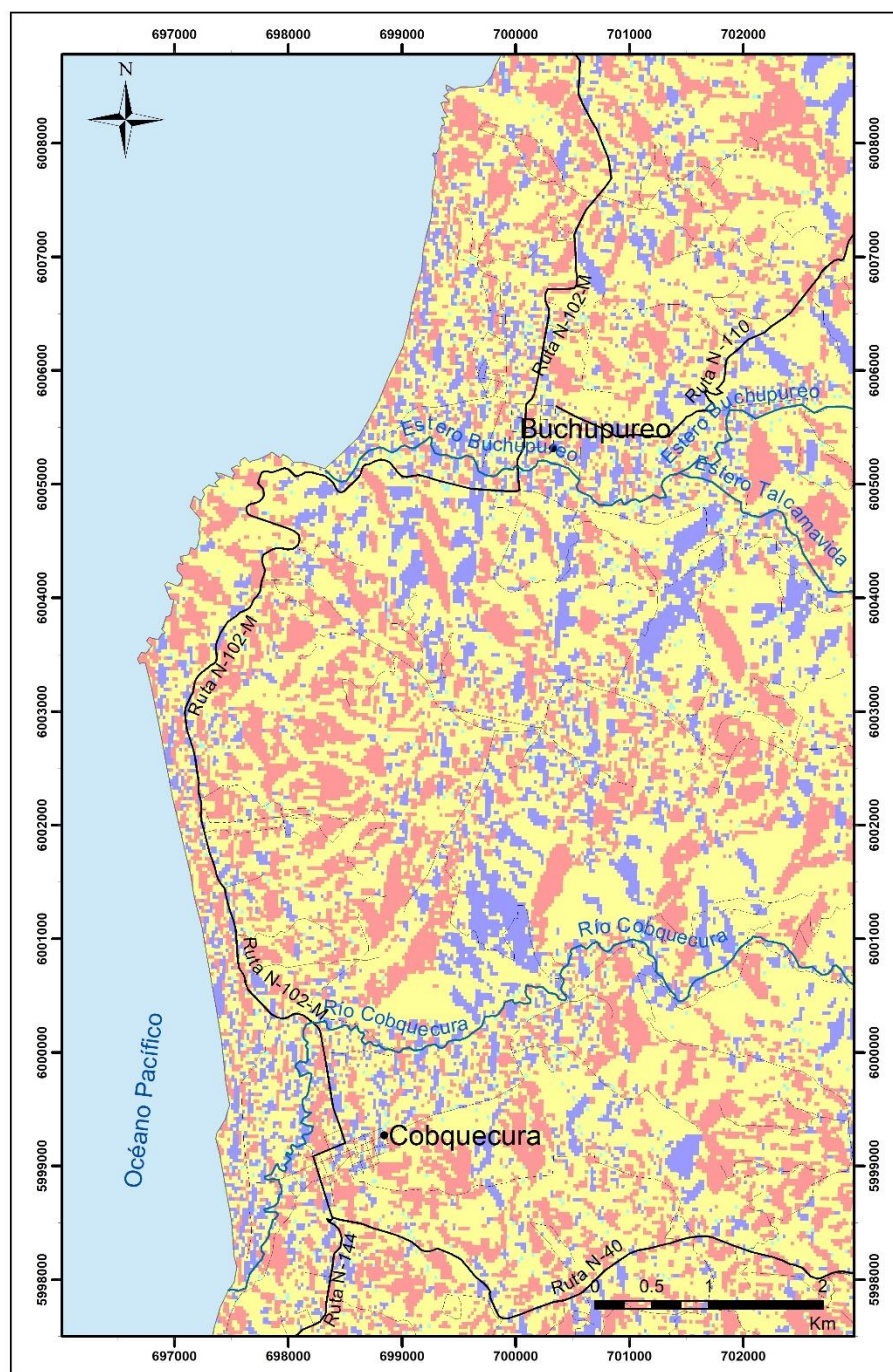
Deslizamiento rotacional
Flujo de detritos

Obras Civiles

Gaviones
Muro de Contención
Ruta N-102-M

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000,000
False Northing: 10,000,000,000
Central Meridian: -75,0000
Scale Factor: 0,9996
Latitude Of Origin: 0,0000
Units: Meter

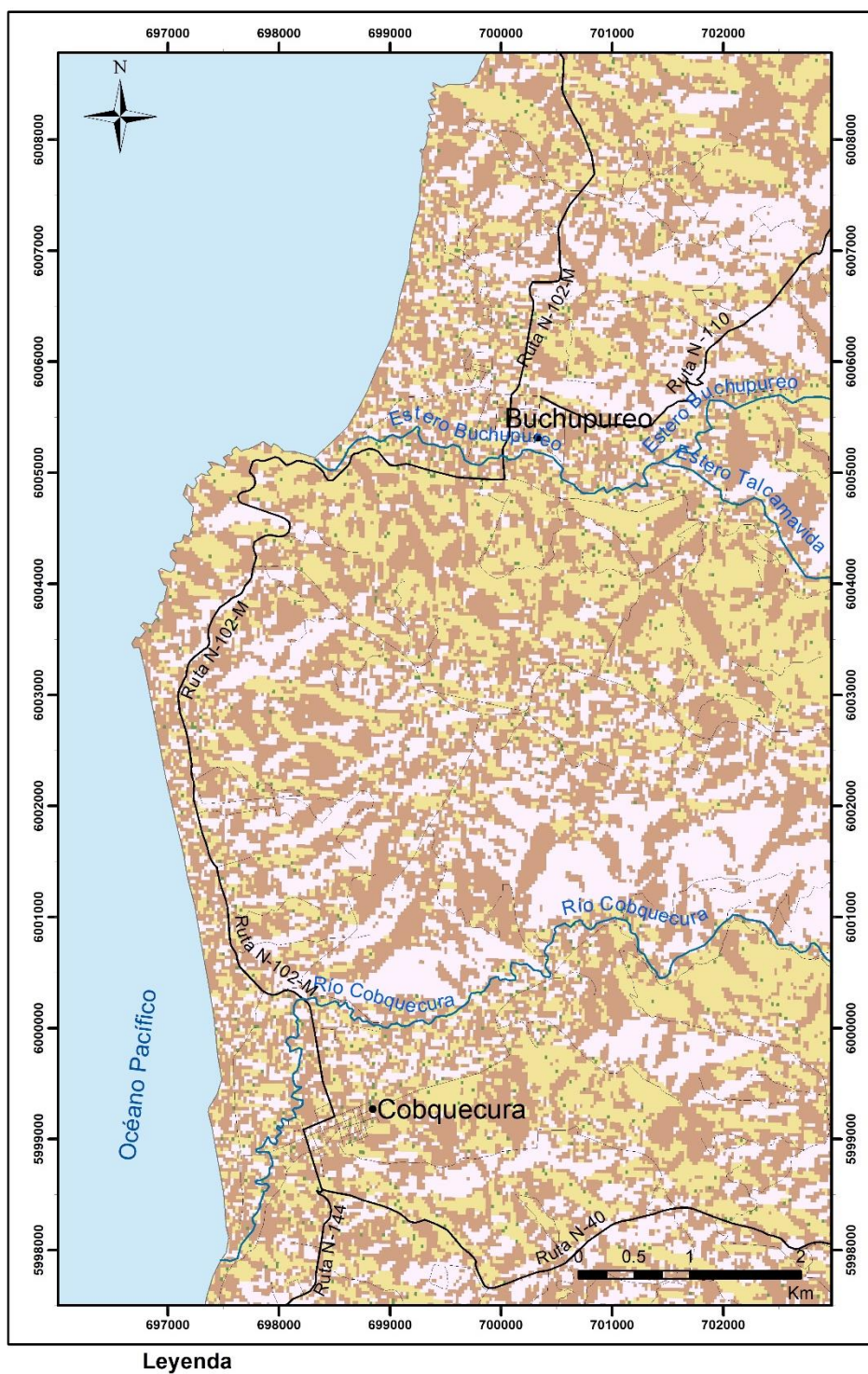
Exposición Marina



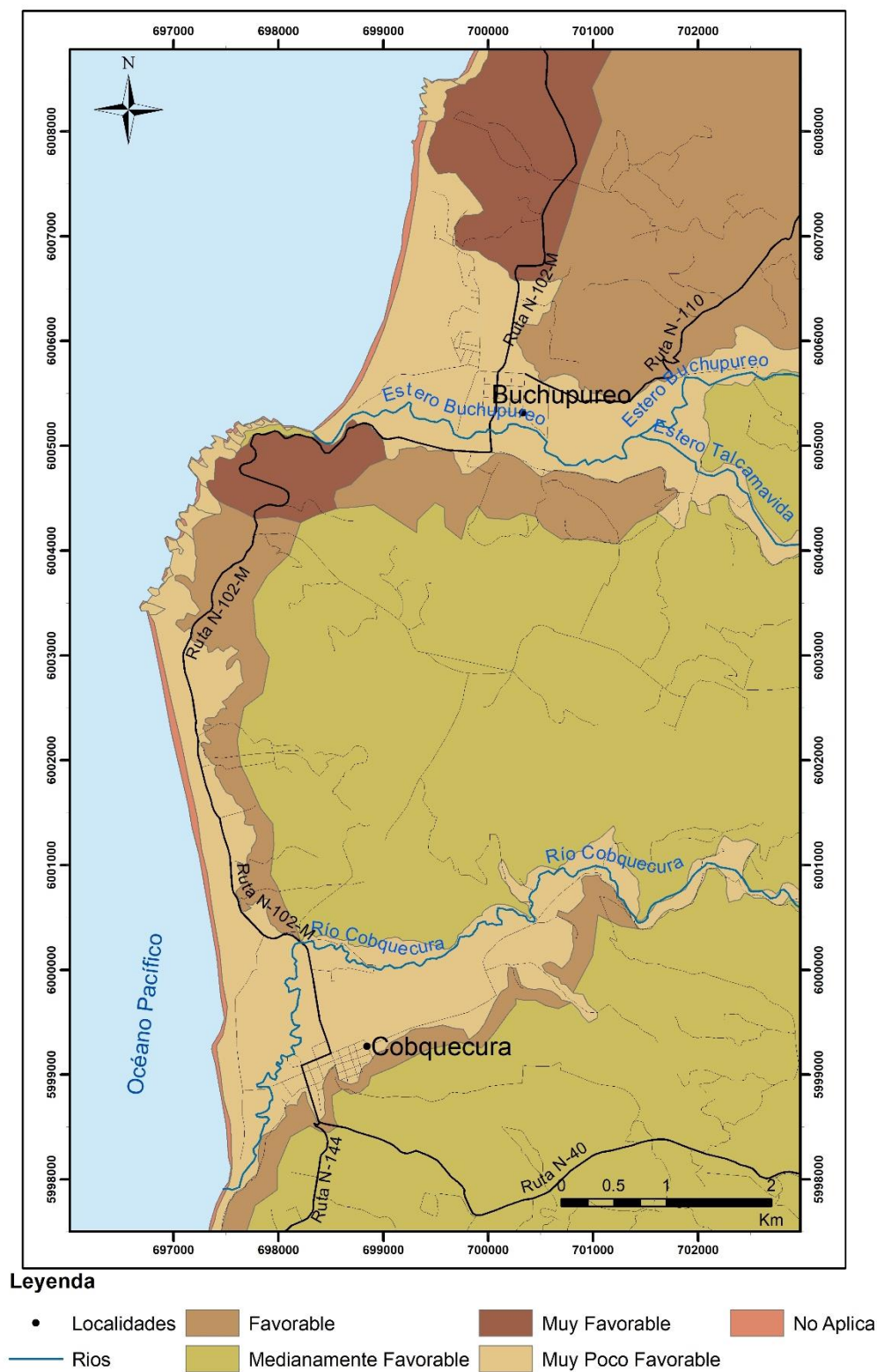
Leyenda

- Localidades
- Rios
- Oeste
- NorteSur
- No Aplica
- Este

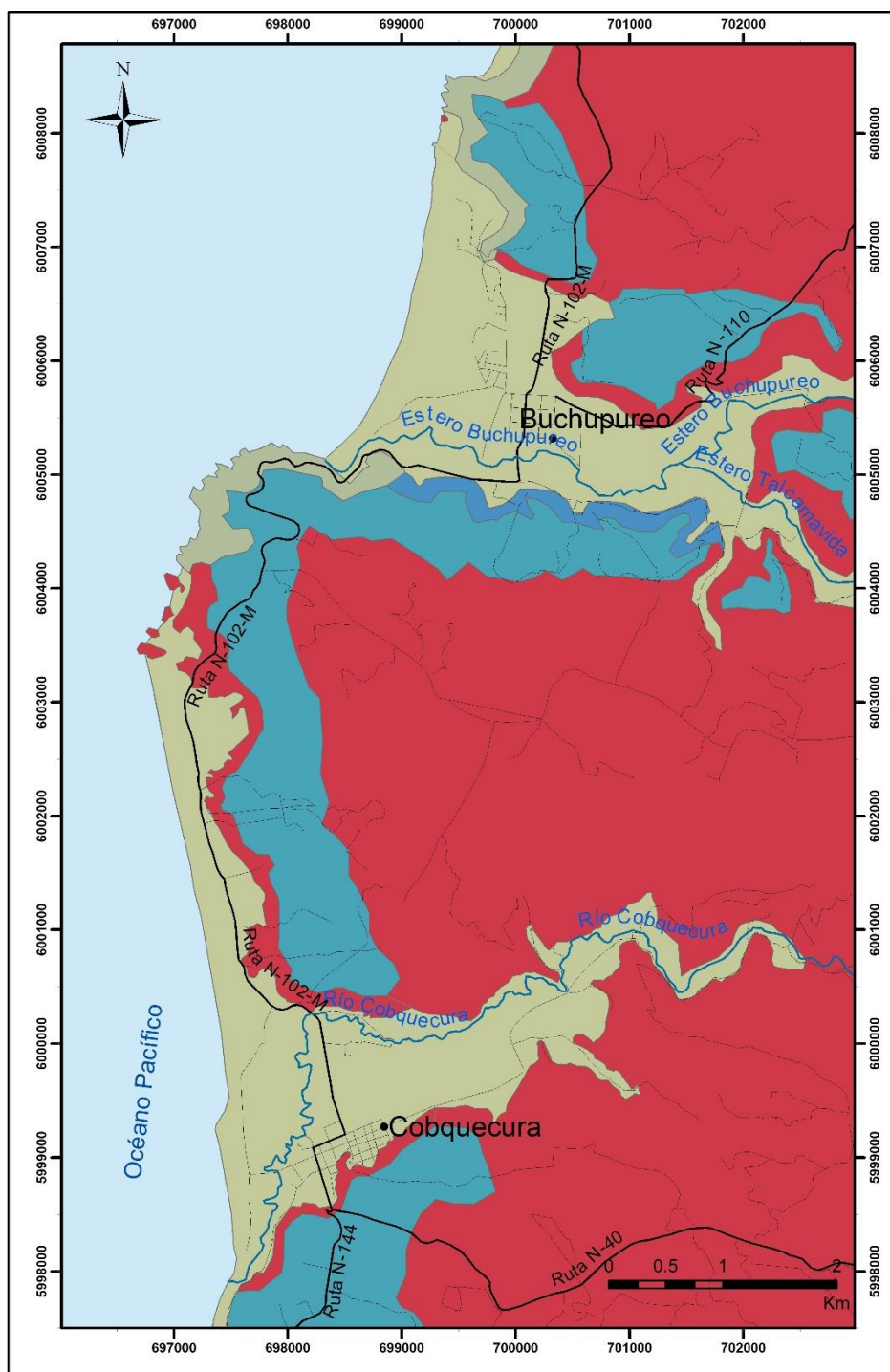
Exposición Solar



Grado de Meteorización



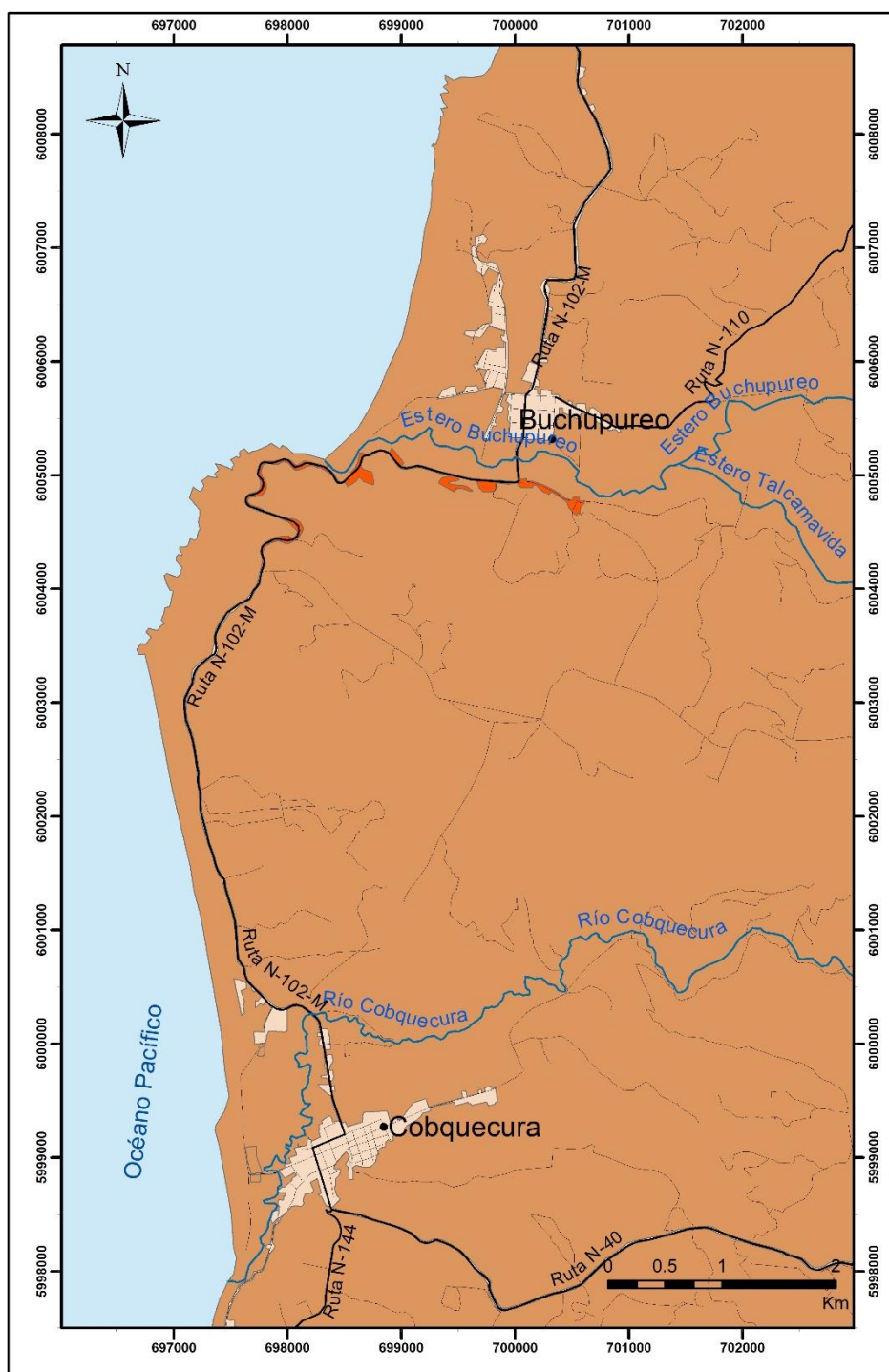
Humedad y Saturación



Leyenda

- Localidades
- Rios
- Favorable
- Muy Favorable
- No Aplica
- Poco Favorable

Intervención Antrópica



Leyenda

- Localidades
- Ríos
- Importante
- No Observado
- Poco Importante

2. Inventario remociones en masa

IMPORTANCIA DEL EVENTO
☒ Alta ☐ Media ☐ Baja

FORMATO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andina

Nombre del Encuestador

Consuelo Antezana Ray

Fecha

Dis

30

Mes

10

Año

2017

Institución

UnAB

Código del Evento

RMB1

COORDINADAS

País

Chile

Región del Biobío

Dpto./Prov./Edo.

Municipio/Ciudad

Cobquecura

Localidad

Buchupureo

COORDINADAS

Sho

Ruta N-102-M

Norte/lat.

6005.102

Este/Long.

697.968

Proyección

WGS 84

Altura (sho) (m.a.s.n.m.)

70

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y DOCUMENTAL DEL EVENTO

REFERENTES GEOGRÁFICOS

Norte estacionamiento Punta de Surf

Buchupureo.

DOCUMENTACIÓN

Fotografía No.

Editor

Año

Escala

Editor

FECHAS DE OCURRENCIA

DD

/

MM

/

AA

Primer Movimiento:

/

/

09

/

17

Edad (años):

/

/

09

8 años

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO

ESTADO

Activo

Reactivado

Suspendido

Latente

Abandonado

Estabilizado

Relicto

ESTILO

Complejo

Compuesto

Múltiple

Secuencial

Único

Enjambre

DISTRIBUCIÓN

Retrogrado

Avanzado

Enanchado

Confinado

Crescente

Decrescente

Móvil

DESCRIPCIÓN

Maicillo de roca ignea (Unidad Intrusiva Triásica) completamente meteorizada y alterada en niveles superiores de perfil de meteorización

LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

ESTRUCTURA

DB

BZ

ESPAZAMIENTO (m)

>2

2-0.6

0.6-0.2

0.2-0.06

<0.06

CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO

OTRAS CARACTERÍSTICAS

Origen del Suelo 1

Residual

Sedimentario (*)

* Tipo suelo sedimentario:

MATERIAL

Humedad del suelo

1

2

Seco

Lig. Húmedo

Húmedo

Muy húmedo

Mojado

% 1

% 2

20

80

Bloques

Caricos

Grava

Finos

M.O.

33

65

2

TIPO DE MOVIMIENTO

1

2

Caida

Volcamento

Deslizamiento rotacional

Deslizamiento traslacional

Propagación lateral

Reparación

Rijpo

Desmoronamiento

Desmoronamiento gravitacional profundo

NOTA: 1 = Primer movimiento
2 = Segundo movimiento

CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO

VELOCIDAD

DESCRIPCIÓN

Ext. Rápido

Muy rápido

Rápido

Moderado

Lento

Muy lento

Ext. Lento

VELOCIDAD TÍPICA

>5 m/s

>3 m/min

>1.8 m/min

>1.3 m/min

>1.6 m/año

<1.6 m/año

Vmax.

E

Vmedia

E

M. Medida

C. Calculada

E. Estimada

NOTAS:

Deslizamiento rotacional de suelo residual

MORFOMETRÍA

DIMENSIONES

Profundidad de la superficie de falla, D (m)

2.5

Área inicial (m²)

27

Área final (m²)

288

Área total afectada (km²)

3.6 x 10⁻⁵

Distancia de golpe (km)

0.004

Rango (m)

3.6

DEFORMACIÓN DEL TERRENO

Modo

Ondulación

Escalamiento

Severidad

X

Leve

Media

Severa

CAUSAS DEL MOVIMIENTO

C

D

Movimiento tectónico

Stirno:

M

E

De

P

Avance/retracción de glaciares

Rompimiento de lagos en cráteres

Desmoronamiento de presas

Desmoronamiento rápido de represas

Emulsión

Fusión del pie del talud por glaciares

Fusión superficial

X

X

C

D

Profundidad de la superficie de falla, D (m)

2.5

Área inicial (m²)

27

Área final (m²)

288

Área total afectada (km²)

3.6 x 10⁻⁵

Distancia de golpe (km)

0.004

Rango (m)

3.6

COBERTURA Y USO DEL SUELO

TIPO COBERTURA

Veg. herbácea

Boque/velva

Materiales

Cuerpo agua

Cultivos

Construcciones

Sin cobertura

SEVERIDAD

X

Leve

Media

Severa

TIPO USO

Ganadería

Área protegida

Recreación

Zona arqueológica

Vivienda

Vías

Materia

Plantación

Forestal

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Revisión/Informe

Editor/Institución

Ciudad

Volumen/Página

xiii

IMPORTANCIA DEL EVENTO
☒ Alta ☐ Media ☐ Baja

FORMATO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andina

Nombre del Encuestador: Consuelo Antezana Ray Fecha: 30 Mes: 10 Año: 2017 Institución: UNAB Código del Evento: RMB2

COORDENADAS		LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y DOCUMENTAL DEL EVENTO	
Pais: <u>Chile</u>		DOCUMENTACIÓN	
Sitio: <u>Ruta N-102-M</u>		Fotografía No. _____ Año _____ Escala _____ Editor _____	
Distrito/Prov./Eco.: <u>Región del Biobío</u>		Mapa/Plancha No. _____	
Municipio/Ciudad: <u>Cobquecura</u>		Año _____ Escala _____ Editor _____	
Localidad: <u>Buchupureo</u>		Año _____ Escala _____ Editor _____	
Proyección: <u>WGS 84</u>		Año _____ Escala _____ Editor _____	
Altura sitio (m.s.n.m.): <u>70</u>		Año _____ Escala _____ Editor _____	

FECHAS DE OCURRENCIA		ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA	
DD / MM / AA		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		ESTRUCTURA	
Primer Movimiento: <u>8 / 10 / 17</u>		<input checked="" type="checkbox"/> Activo <input type="checkbox"/> Reactivo <input type="checkbox"/> Suspendido <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Abandonado <input type="checkbox"/> Relicto		<input checked="" type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Múltiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input type="checkbox"/> Único <input type="checkbox"/> Enjambre		Retrogrado Avanzado Enchanchado Confinado Creciente Decreciente Móvil		DB	
Edad (años): <u>8 años</u>								BZ	

TIPO DE MOVIMIENTO		MATERIAL		ORÍGEN DEL SUELO		VELOCIDAD TÍPICA		VELOCIDAD			
1 2		1 2		1 2		1 2		1 2			
<input checked="" type="checkbox"/> Caida <input checked="" type="checkbox"/> Volcánico <input checked="" type="checkbox"/> Deslizamiento rotacional <input checked="" type="checkbox"/> Deslizamiento traslacional <input checked="" type="checkbox"/> Propagación lateral <input checked="" type="checkbox"/> Repación <input checked="" type="checkbox"/> Flujo <input checked="" type="checkbox"/> Deformaciones gravitacionales profundas		<input checked="" type="checkbox"/> Roca <input checked="" type="checkbox"/> Detritos <input checked="" type="checkbox"/> Tierra <input checked="" type="checkbox"/> Suelos/Ingeniería <input checked="" type="checkbox"/> Bloques <input checked="" type="checkbox"/> Canchales <input checked="" type="checkbox"/> Arena <input checked="" type="checkbox"/> Fines <input checked="" type="checkbox"/> M.O. M.O.: Materia orgánica, turba		<input checked="" type="checkbox"/> Seco <input checked="" type="checkbox"/> Lp. Húmedo <input checked="" type="checkbox"/> Húmedo <input checked="" type="checkbox"/> Muy húmedo <input checked="" type="checkbox"/> Mojado		<input checked="" type="checkbox"/> Origen del Suelo 1 <input checked="" type="checkbox"/> Residual <input checked="" type="checkbox"/> Sedimentario (*) * Tipo suelo sedimentario: <input type="checkbox"/> Tipo suelo sedimentario: <input type="checkbox"/> Tipo suelo sedimentario: <input type="checkbox"/> Tipo suelo sedimentario:		<input checked="" type="checkbox"/> Descripción Extr. Rápido Muy Rápido Rápido Moderado Lento Muy lento Ext. Lento		<input checked="" type="checkbox"/> Vmáx. <input checked="" type="checkbox"/> Vmedia <input checked="" type="checkbox"/> M. Medida C. Calculada E. Estimada	
NOTA: 1 = Primer movimiento 2 = Segundo movimiento				Clasificación USCS		Sistema de Clasificación: _____		NOMBRE DEL MOVIMIENTO: <u>Deslizamiento Rotacional compuesto de detritos y suelo residual</u>			

GENERAL		MORFOMETRÍA		DEFORMACIÓN DEL TERRENO		GEOFORMA	
Diferencia de altura corona a punta (m): <u>38</u>		Profundidad de la superficie de falla, D _f (m): <u>14</u>		Medio		Severidad	
Longitud horizontal Corona a punta (m): <u>23</u>		Ancho de la superficie de falla, W _f (m): <u>24</u>		Ondulación		Leve	
Longitud horizontal Corona a punta (m): <u>56</u>		Longitud de la superficie de falla, L _f (m): <u>19</u>		Escalonamiento		Media	
Pendiente lateral pre-falla (°): <u>35</u>		Área inclinada (m²): <u>8364</u>		<input checked="" type="checkbox"/> X		<input checked="" type="checkbox"/> Severa	
Pendiente lateral post-falla (°): <u>230</u>		Área inclinada (m²): <u>6.97x10^4</u>					
Dirección del movimiento (°): <u>55</u>		Distancia de viaje (km): <u>0.025</u>					
Ángulo del talud (°): <u>55</u>		Runup (m): <u>26</u>					

CAUSAS DEL MOVIMIENTO		COBERTURA Y USO DEL SUELO	
C D		C D	
<input checked="" type="checkbox"/> Material plástico débil <input checked="" type="checkbox"/> Material sensible <input checked="" type="checkbox"/> Material colapsible <input checked="" type="checkbox"/> Material meteorizado físicamente <input checked="" type="checkbox"/> Material meteorizado químicamente <input checked="" type="checkbox"/> Material tallado por corte <input checked="" type="checkbox"/> Orientación desfavorable de discontinuidades <input checked="" type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales <input checked="" type="checkbox"/> Contraste de rigidez de materiales <input checked="" type="checkbox"/> Meteostratificación por empinamiento/deshielo <input checked="" type="checkbox"/> Meteostratificación por expansión/contracción <input checked="" type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación		<input checked="" type="checkbox"/> Socavación del pie del talud por corriente agua <input checked="" type="checkbox"/> Socavación del pie del talud por dique <input checked="" type="checkbox"/> Excavación del pie del talud <input checked="" type="checkbox"/> Carga en la corona del talud <input checked="" type="checkbox"/> Erosión subterránea (disolución, lubrificación) <input checked="" type="checkbox"/> Irrigación <input checked="" type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de drenaje <input checked="" type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías <input checked="" type="checkbox"/> Minería <input checked="" type="checkbox"/> Disposición deficiente de escombros <input checked="" type="checkbox"/> Vibración artificial (ráfico, explosiones, hincado de pilotes) <input checked="" type="checkbox"/> Otros	
NOTAS: C. Condicionante, D. Desencante, mm24h: lluvia acumulada en las 24 horas antes del movimiento M: magnitud del sismo, E: Escala del sismo (ML, Ms, mb, Mw), De: Distancia al epicentro (km), P: Profundidad (km)		NOTAS: C. Condicionante, D. Desencante, mm24h: lluvia acumulada en las 24 horas antes del movimiento M: magnitud del sismo, E: Escala del sismo (ML, Ms, mb, Mw), De: Distancia al epicentro (km), P: Profundidad (km)	

DOCUMENTOS DE REFERENCIA		VOLUMEN PÁGINAS	
Revisar/Informar		Revisar/Informar	
Año		Año	
Título		Título	
Autores		Autores	
Editor/Institución		Editor/Institución	
Ciudad		Ciudad	
Volumen		Volumen	
Páginas		Páginas	

FORMATO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andina

IMPORTANCIA DEL EVENTO
☐ Alta ☒ Media ☐ Baja

Nombre del Encuestador: **Consuelo Antezana Ray** Fecha: **30** Mes: **10** Año: **2017** Institución: **UNAB** Código del evento: **RMB3**

COORDENADAS		LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y DOCUMENTAL DEL EVENTO	
País: Chile	Sitio: Ruta N-102-M	Mapa/Plancha No.:	Fotografía No.:
Dpto./Prov./Edo.: Región del Biobío	Norte/Lat.: 6004 833	Alto:	Editor:
Municipio/Ciudad: Cobquecura	Este/Long.: 697 779	Alto:	Editor:
Localidad: Buchupureo	Proyección: WGS 84	Alto:	Editor:
	Altura sitio (m.s.n.m.): 95	Alto:	Editor:

FECHAS DE OCURRENCIA		ESTADO		ESTILO		DISTRIBUCIÓN		DESCRIPCIÓN		LITOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA	
DD / MM / AA	DD / MM / AA	Activo	Reactivado	Conjuntivo	Retroactivo	X	Avanzado	Maicillo de roca ignea (Unidad Intrusiva Triásica) completamente meteorizada y alterada en niveles superiores de perfil de meteorización, gradualmente identificando textura fanerítica de una roca leucocrática diorítica.		DB	BZ
Primer Movimiento:	/ / 17	Suspendido		Múltiple			Enchufado				
Edad (años):	/ / 09	Abandonado		Único			Crecente				
		Estabilizado		Enjambre			Decreciente				
		Relicto					Móvil				

TIPO DE MOVIMIENTO		MATERIAL		CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO	
1	2	1	2	1	2
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Caida	Volcánico	Bloques	Cantos	Origen del suelo 1	Residual
Deslizamiento rotacional	Deslizamiento traslacional	Grava	Grava	Residual	Sedimentario (*)
Propagación lateral	Reparación	Arena	Finos	* Tipo suelo sedimentario:	
Flujo	Deformaciones profundas	M.O. Materia orgánica, turba	M.O.		

GENERAL		MORFOMETRÍA	
Diferencia de altura corona a punta (m)	45	Volumen inicial (m³)	2700
Longitud horizontal corona a punta (m)	30	Área inicial (km²)	7.8x10 ⁻⁴
Faldeo (°)	55	Área total afectada (km²)	0.024
Pendiente de ladera en post-falla (°)	30	Distancia de viaje (km)	
Pendiente ladera en pre-falla (°)	50	Ranura (m)	
Dirección del movimiento (°)	330		
Ángulo del talud (°)	30		

CAUSAS DEL MOVIMIENTO		DEFORMACIÓN DEL TERRENO		COBERTURA Y USO DEL SUELO	
C	D	C	D	C	D
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Materia plástica débil	Movimiento tectónico	Modo	Severidad	Tipo Cobertura	Uso
Materia sensible	Sismo	Ondulación	Leve	Reg. Hidráulica	Canchales
Materia colapsable	Erupción volcánica	Escalón	Medio	Boques de agua	Agropecuario
Materia mejorado físicamente	Ullas: mm/24h		Severa	Cultivos agrícolas	Residencial
Materia mejorado químicamente	Viento			Contrucciones	Zona industrial
Materia fallado por corte	Desbordo			Sin cobertura	Vereda
Materia fluído o opresado	Ancho intersección de glaciar				Materia
Orientación favorable de discontinuidades	Recomiendo de lago en crestas				
Contraste de permeabilidad de materiales	Recomiendo de grietas				
Metorización por expansión/contracción	Desembarque rápido de represas				
Metorización por expansión/contracción	Embolse				
Deforestación o ausencia de vegetación	Erupción del pie del talud por glaciares				

DOCUMENTOS DE REFERENCIA	
Revisión/Informe	Revisión/Informe
Autores	Autores
Alto	Alto
Título	Título
Editor/Institución	Editor/Institución
Ciudad	Ciudad
Volumen: Páginas	Volumen: Páginas

IMPORTANCIA DEL EVENTO
☐ Alta ☐ Media ☒ Baja

FORMATO PARA INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andina

Nombre del Encuestador: Consuelo Antezana Ray Fecha: 30 Mes: 10 Año: 2017 Institución: UnAB Código del Evento: RMC1

POR DIVISION POLITICA		COORDENADAS		LOCALIZACION GEOGRAFICA Y DOCUMENTAL DEL EVENTO		DOCUMENTACION	
País	<u>Chile</u>	Stilo	<u>Chacabuco</u>	Mapa/Plancha No.	Año	Escala	Editor
Data.Prov./Est.	<u>Región del Biobío</u>	Norte/lat.	<u>5999204</u>				
Municipio/Ciudad	<u>Cobquecura</u>	Este/long.	<u>699039</u>				
Localidad	<u>Cobquecura</u>	Proyección:	<u>WGS 84</u>				
		Altura sitio (m.s.n.m.)	<u>20</u>				

FECHAS DE OCURRENCIA		ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO		LITOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA	
DD / MM / AA	<u> </u> / <u> </u> / <u>15</u>	ESTADO	ESTILO	DESCRIPCION	ESTRUCTURA
Primer Movimiento:	<u> </u> / <u> </u> / <u>15</u>	Activo <input checked="" type="checkbox"/> Reactivo <input type="checkbox"/> Suspenso <input type="checkbox"/> Latente <input type="checkbox"/> Abandonado <input type="checkbox"/> Estabilizado <input type="checkbox"/> Refecto	Complejo <input type="checkbox"/> Composito <input type="checkbox"/> Multiple <input type="checkbox"/> Sucesivo <input checked="" type="checkbox"/> Unico <input type="checkbox"/> Enjambre	Flilita perteneciente a Unidad Paleozoica con vetillas delgadas de qz.	Foliación Preferencial
Edad (años):	<u> </u> / <u> </u> / <u> </u>				

TIPO DE MOVIMIENTO		MATERIAL		OTRAS CARACTERISTICAS		VELOCIDAD	
1	2	1	2	Origen del Suelo 1	DESCRIPCION	VELOCIDAD TÍPICA	VELOCIDAD
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Sedimentario (*)	<input type="checkbox"/> Movimiento cavilado <input type="checkbox"/> Movimiento no canalizado <input type="checkbox"/> Licuación <input checked="" type="checkbox"/> Otra ... Describir	<input checked="" type="checkbox"/> Ext. Rápido <input type="checkbox"/> Muy rápido <input type="checkbox"/> Rápido <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Lento <input type="checkbox"/> Muy lento <input type="checkbox"/> Ext. Lento	<input type="checkbox"/> Vmáx. <input type="checkbox"/> Vmedia <input type="checkbox"/> M. Medida <input type="checkbox"/> C. Calculada <input type="checkbox"/> E. Estimada
NOTA: 1 = Primer movimiento 2 = Segundo movimiento		Plasticidad		Clasificación USCS		CLASIFICACION DEL MOVIMIENTO	
		<input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input checked="" type="checkbox"/> No plástico					

GENERAL		MORFOMETRIA		DEFORMACION DEL TERRENO		GEOFORMA	
Diferencia de altura corona a punta (m)	<u>10</u>	Profundidad de la superficie de falla, Df (m)	<u> </u>	Modo	Severidad		
Longitud horizontal corona a punta (m)	<u>30</u>	Ancho de la superficie de falla, Wf (m)	<u>6</u>	Ondulación	<input checked="" type="checkbox"/> Leve <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Severa		
Faltas/burg (°)	<u>75</u>	Longitud de superficie de falla, Lf (m)	<u>2</u>	Escalonamiento	<input type="checkbox"/>		
Pendiente lateral en pos-falla (°)	<u>75</u>	Espejo de la masa desplazada, Dd (m)	<u>4.4</u>				
Pendiente lateral en pre-falla (°)	<u>80</u>	Ancho de la masa desplazada, Wd (m)	<u>4.5</u>				
Dirección del movimiento (°)	<u>45</u>	Longitud de la masa desplazada, Ld (m)	<u>1.5</u>				
Adm. del talud (°)	<u>80</u>	Longitud total, L (m)	<u>7.5</u>				

CAUSAS DEL MOVIMIENTO		COBERTURA Y USO DEL SUELO	
C	D	C	D
<input checked="" type="checkbox"/> Material plástico débil	<input type="checkbox"/> Movimiento tectónico	<input type="checkbox"/> Socavación del pie del talud por corriente agua	<input type="checkbox"/> TIPO COBERTURA
<input checked="" type="checkbox"/> Material colapsible	<input type="checkbox"/> Sismo: M <u> </u> E <u> </u> D <u> </u> P <u> </u>	<input type="checkbox"/> Socavación del pie del talud por oleaje	<input type="checkbox"/> Vsg. Herbácea
<input checked="" type="checkbox"/> Material meteorizado físicamente	<input checked="" type="checkbox"/> Erupción volcánica	<input type="checkbox"/> Excavación del pie del talud	<input type="checkbox"/> Bosque/Selva
<input type="checkbox"/> Material meteorizado químicamente	Lluvias: mm24h: <u> </u> mm48h: <u> </u> mm72h: <u> </u>	<input type="checkbox"/> Carga en la corona del talud	<input type="checkbox"/> Materiales
<input type="checkbox"/> Material fallado por corte	Viento	<input type="checkbox"/> Erosión subterránea (disolución, tubificación)	<input type="checkbox"/> Cuerpo agua
<input type="checkbox"/> Material filtrado o agrietado	Dehiello	<input type="checkbox"/> Irrigación	<input type="checkbox"/> Cultivos
<input type="checkbox"/> Orientación desfavorable de discontinuidades	Avance/retroceso de glaciares	<input type="checkbox"/> Mantenimiento deficiente sistema de drenaje	<input checked="" type="checkbox"/> Construcciones
<input type="checkbox"/> Contraste de permeabilidad de materiales	Bompeo de lagos en cráteres	<input type="checkbox"/> Escapes de agua de tuberías	<input type="checkbox"/> Sin cobertura
<input type="checkbox"/> Meteorización por congelamiento/dehiello	Bompeo de presas	<input type="checkbox"/> Minería	<input type="checkbox"/> Vías
<input type="checkbox"/> Meteorización por expansión/contracción	Desembalse súbito de represas	<input type="checkbox"/> Disposición deficiente de estériles/escombros	<input type="checkbox"/> Minería
<input checked="" type="checkbox"/> Deforestación o ausencia de vegetación	Embalce	<input type="checkbox"/> Vibración artificial (tráfico, explosiones, vincado de pilotes)	
	Erosión del pie del talud por glaciares	Otros	
	Erosión superficial		

DOCUMENTOS DE REFERENCIA		DOCUMENTOS DE REFERENCIA	
Autores	Año	Editor/Institución	Volumen: Páginas

IMPORTANCIA DEL EVENTO

Código del Evento
RMC2xviii

3. Datos Estructurales

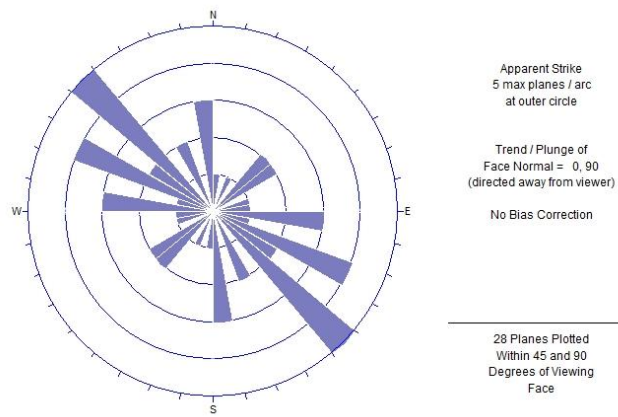
Ubicación/ Observaciones	Tipo	GPS WGS 84		Rumbo	Manteo	Dip	DipDirection
		Norte	Este				
Punta Pullay	Diaclasa	6008292	699403	N82W	80NE	80	8
Gabro	Diaclasa			N79W	67NE	67	11
	Diaclasa			N46W	70NE	70	44
	Diaclasa			N65W	75NE	75	25
	Diaclasa			N62W	45NE	45	28
	Diaclasa			N45W	60NE	60	45
	Diaclasa			N43W	14SW	14	227
	Diaclasa			N30W	42NE	42	60
	Diaclasa			N10W	88NE	88	80
	Diaclasa			N4W	74NE	74	86
	Diaclasa			N23E	83SE	83	113
	Diaclasa			N55E	78SE	78	145
	Diaclasa			N77E	43SE	43	167
	Diaclasa			N74E	41SE	41	164
	Diaclasa			N87E	65SE	65	177
	Diaclasa			N45W	80SW	80	225
	Diaclasa			N44W	72SW	72	226
	Diaclasa			N48W	76SW	76	222
Cantera Buchupureo	Falla	6004905	699412	N40E	74NW	74	310
Gabro	Diaclasa			N24E	11SE	11	114
	Diaclasa			N25E	84NW	84	245
	Diaclasa			N55W	82NE	82	35
	Diaclasa			N55W	20SW	20	215
	Diaclasa			N70E	85NW	85	340
	Diaclasa			N65W	68NE	68	25
	Diaclasa			N54E	20SE	20	144
	Diaclasa			N70W	72NE	72	20
	Diaclasa			N30W	22SW	22	240
	Diaclasa			N45E	69SE	69	135
	Diaclasa			N40E	74NW	74	320
	Diaclasa			N60W	56NE	56	30
	Diaclasa			N5W	50SW	50	265
	Diaclasa			EW	90N	90	0
	Diaclasa			NS	46W	46	90
	Diaclasa			EW	88N	88	0
	Diaclasa			N25W	75SW	75	245
Parque Las Nalcas	Diaclasa	6005038	697466	N20E	80SE	80	110
Filita	Diaclasa			N75E	40SE	40	165
	Diaclasa			N60W	80SW	80	210
	Diaclasa			N65W	43NE	43	25
	Foliación			N75E	35SE	35	165
	Foliación			N85E	30SE	30	175
	Diaclasa			N47W	70SW	70	223
	Diaclasa			N40W	73SW	73	230

Iglesia de Piedra	Foliación	6003439	697354	EW	17S	17	180
Filita	Foliación			EW	25S	25	180
	Diaclasa			N10W	42NE	42	80
	Diaclasa			N15W	55SW	55	255
	Diaclasa			N15W	45NE	45	75
	Diaclasa			N85W	80SW	80	185
	Diaclasa			N10W	76SW	76	260
	Diaclasa			EW	76S	76	180
	Diaclasa			N65E	20SE	20	155
	Diaclasa			N80E	10SE	10	170
	Diaclasa			N8W	88NE	88	82
	Diaclasa			N5W	90NE	90	85
	Diaclasa			NS	82E	82	90
Camino a Buchupureo por valle	Diaclasa	6000704	697590	N85E	63SE	63	175
Filita	Diaclasa			N47W	70SW	70	223
	Diaclasa			N40W	73SW	73	230
	Foliación			N75W	70NE	70	15
	Foliación			N60W	80SW	80	210
	Foliación			N65W	43NE	43	25
Camino Ladera Norte Valle Cobquecura	Diaclasa	6000215	698695	N18W	57SW	57	252
Filita	Foliación			N87E	20SE	20	177
	Foliación			EW	19S	19	180
	Foliación			EW	25S	25	180
	Foliación			N86E	23SE	23	176
	Foliación			N63E	12SE	12	153
Cancha Tennis, Escuela, Ladera Sur Cobquecura	Foliación	5999185	699048	N65E	10SE	10	155
Filita	Foliación			N80E	10SE	10	170
	Diaclasa			NS	82W	82	270
	Diaclasa			NS	85W	85	270
	Foliación			N87E	18SE	18	177
	Foliación			EW	24S	24	180
	Foliación			EW	20S	20	180
	Foliación			N85W	17SW	17	185
	Foliación			N65E	15SE	15	155
	Diaclasa			N20W	50NE	50	70
	Diaclasa			N15W	45NE	45	75
	Diaclasa			N13W	41NE	41	78
	Diaclasa			N24W	47NE	47	66

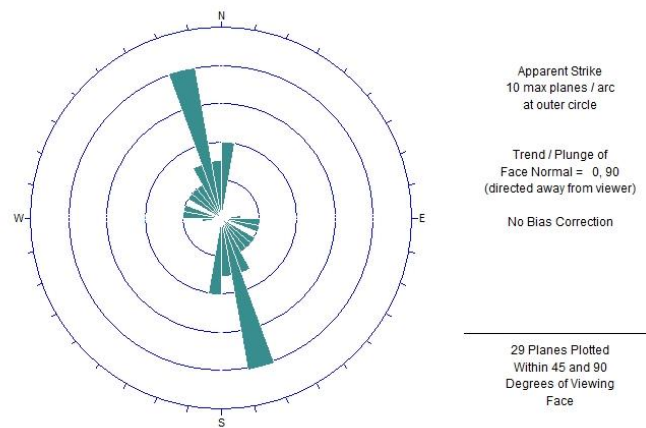
Camino a Taucú, Salida Este de Cobquecura	Foliación	5998489	698474	N83E	11SE	11	173
Filita	Foliación			N61E	14SE	14	151
	Foliación			N88W	17SW	17	212
	Foliación			N82E	18SE	18	172
	Foliación			EW	21S	21	180
	Foliación			EW	25S	25	180
	Diaclasa			N10W	42NE	42	80
	Diaclasa			N15W	46NE	46	75
	Diaclasa			N25W	52SW	52	245
	Diaclasa			N20W	62SW	62	250
	Diaclasa			N47W	78SW	78	223
	Diaclasa			N53W	82SW	82	217
Camino Costero a Taucú, Sur de Cobquecura	Foliación	5998259	697859	N75E	13SE	13	165
Filita	Foliación			N65E	16SE	16	155
	Foliación			EW	17S	17	180
	Foliación			N87W	15SW	15	183
	Diaclasa			N10W	42NE	42	80
	Diaclasa			N15W	55SW	55	255
	Diaclasa			N22W	58SW	58	248
	Diaclasa			NS	82W	82	270
	Diaclasa			N80W	90NE	90	10
	Falla			N38W	85SW	85	232

Rosetas Dips

3.1.1. Sistema de diaclasas para Unidad Intrusiva Triásica.



3.1.2. Sistema de diaclasas para Unidad Metamórfica Paleozóica



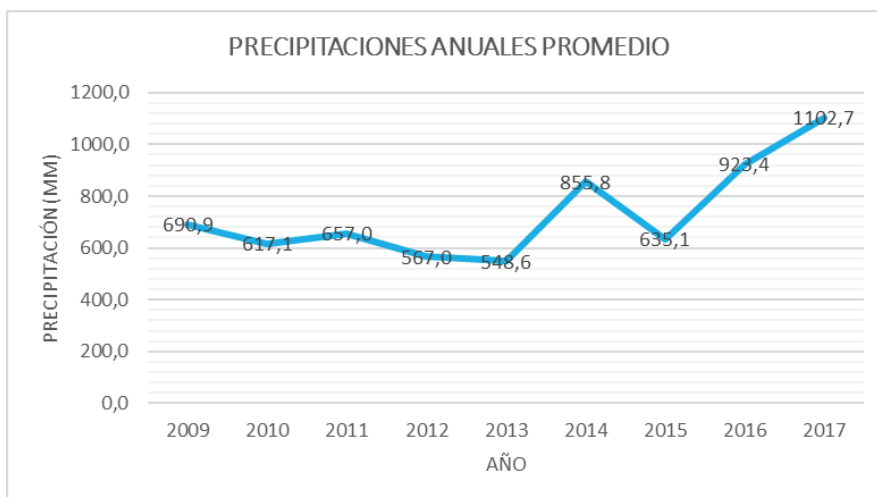
4. Datos Meteorológicos

Datos anuales promedios entre los años 2009-2017

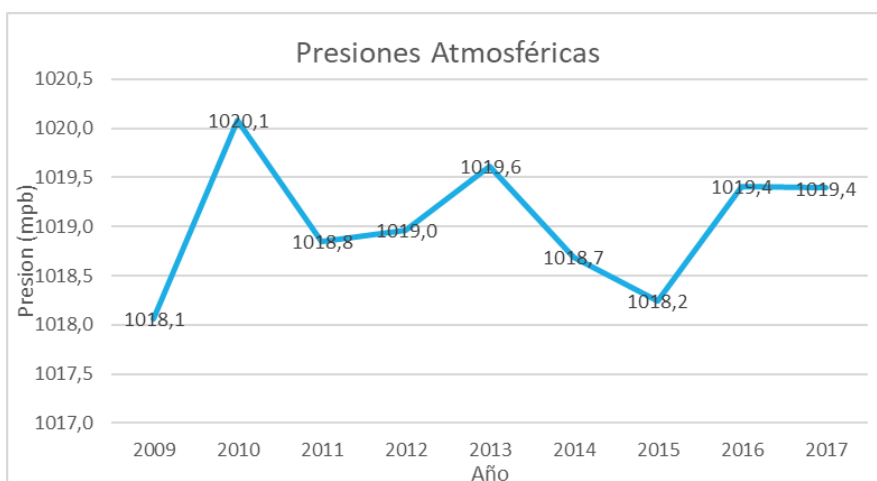
Año	Promedio	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PP (mm)	733,1	690,9	617,1	657,0	567,0	548,6	855,8	635,1	923,4	1102,7
Tmax (°C)	16,0	15,7	15,8	15,9	16,2	15,9	16,0	16,5	16,4	15,7
Tmin (°C)	7,0	6,8	6,1	6,5	6,6	6,9	7,9	7,7	7,9	6,8
Presion (mpb)	1019,0	1018,1	1020,1	1018,8	1019,0	1019,6	1018,7	1018,2	1019,4	1019,4

Gráficos

4.1.1. Precipitaciones anuales promedio



4.1.2. Presiones atmosféricas anuales promedio



4.1.3. Temperaturas anuales promedio, máximo y mínimo

